

**Untersuchung unterschiedlicher Materialien  
und Konstruktionen auf ihr Crashverhalten  
für Rennsportanwendungen**

*eingereicht als*  
***Bachelorarbeit***

an der

***HOCHSCHULE MITTWEIDA  
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES***

**Fakultät Maschinenbau**

**Mittweida, 2012**

Erstprüfer: Prof. Dr. -Ing. Frank Weidemann

Zweitprüfer: Dipl. -Ing. Stefanie Zehrt

## Inhaltverzeichnis

1.Einführung .....	4
1.1 Formula SAE und FSG .....	5
1.2 Zielsetzung .....	6
2. Die Crashbox .....	6
2.1 Grundprinzip .....	6
2.2 Anforderungen .....	7
3. Überschlagene Berechnung .....	8
5. Vorauswahl der Materialien der Crashbox.....	9
4.1 Aluminiumschaum .....	10
4.2 Aluminiumwabe .....	11
4.3 Kunststoffschaum .....	13
4.4 Stahl – und Aluminiumbleche .....	14
4.5 CFK ( Kohlenfaserverstärkter Kunststoff ) .....	14
4.6 GFK (Glasfaserverstärkter Kunststoff ) .....	15
4.7 PE-Schaum( Polyethylen-Schaum) .....	16
4.8 Ergebnisse der Vorauswahl .....	17
5. Neuheiten bei Crashboxen 2012.....	19
6. Überlegungen zur Crashbox .....	24
6.1 Crashboxvarianten.....	24
6.1.1 Überlegungen und Erklärungen zur Variante 1.....	26
6.1.2 Überlegungen und Erklärungen zur Variante 2.....	27

6.1.3	Aluminumwabe .....	28
6.1.4	Polyethylen-Schaum.....	30
7.	Konstruktion .....	31
7.1	Komponenten der Crashbox .....	31
7.1.1	Bulkhead.....	31
7.1.2	Al-Platte (Anti-Intrusion-Plate) .....	32
7.1.3	Variantenvergleich und Auswahl zwischen verschweißter und verschraubter Al-Platte. ....	32
7.1.4	Vorteile einer verschweißten gegenüber einer verschraubten Al-Platte.....	32
7.1.5	Nachteile einer verschweißten gegenüber einer verschraubten Al-Platte.....	33
7.1.6	Auswahl von verschweißten und verschraubten Al-Platte .....	33
7.1.7	Kernteile der Variante 1 und 2 .....	33
7.2	Entwurf von Variante 1 .....	34
7.3	Entwurf von Variante 2 .....	40
7.4	Vergleich und Auswahl der Varianten .....	44
8.	Zusammenfassung .....	45
	Formula Student – Regelwerk .....	47
	Abbildungsverzeichnis .....	50
	Tabellenverzeichnis .....	51
	Abkürzungsverzeichnis .....	52
	Literaturverzeichnis:.....	53

# 1.Einführung

Die vorliegende Arbeit konzentriert sich auf die Tatsache, dass FSAE-Rennwagen zum Schutz des Rahmens und vor allem des Fahrers eine Crashbox benötigen, welche an den Bulkhead des Fahrzeuges angebracht wird. Hierbei besteht der Inhalt dieses Projekts darin die Planung, Konstruktion, unter Berücksichtigung verschiedener Materialien, sowie eine überschlägliche Berechnung bis hin zum Entwurf anzustellen.

TMM, ein FSAE Rennteam, beschäftigt sich jährlich innerhalb der Frühlingssaison mit dem Bau und der Rennerprobung von Fahrzeugen für den ebenfalls jährlich stattfindenden SAE-Wettbewerb. Dabei ist zu erwähnen, dass dieser Wettbewerb sich insbesondere auf die Förderung von Schüler-Teamarbeiten und Problemlösungen in Bezug auf Automobil-Studenten im Bereich der Ingenieurwissenschaften beschäftigt. Zudem ist eines der Hauptziele dieses Unternehmens die Förderung von Innovationen und Entwicklungen im weiteren Erfolg von Turnieren.[1]

Als eines der wichtigsten Voraussetzungen für das Team gilt es sich mit dem Design zu beschäftigen, wobei Hauptaugenpunkte auf das Testen und Bauen von Crashboxen für den Frontteil des Autos gelegt werden. Dabei soll eine Abschwächung von Aufprallwirkungen erreicht werden, welche in der Absorption von Energie erfolgt, was zu einer Minimierung von Schäden am Fahrzeugrahmen und am Fahrer beitragen soll. Eine derzeit bestehende SAE Regel fordert, dass die Abschwächung durch die auf den Bulkhead vormontierte Crashbox bei einer durchschnittliche Verzögerung nicht mehr 20 g je Aufprall betragen darf, wobei der absolute Spitzenwert der Verzögerung nicht mehr als 40 g an einem jeden Punkt betragen soll. Die Voraussetzungen, um für Schlagprüfung repliziert werden sollen, ein Fahrzeug mit 7 m / s mit einer Gesamtmasse von 300 kg.

Der Nachweis der Praxistests wurde vom Designteam bereitgestellt . Fotos von den Auswirkungen auf die Dämpfer vor und nach dem Aufprall sorgen

dafür, dass FSAE vor dem Wettbewerb inspiziert werden. Das Team ist auch dafür erforderlich, um eine schematische Darstellung des Prüfverfahrens zu zeigen. Während der technischen Überprüfung des Fahrzeugs muss der getestete Aufpralldämpfer auf offiziellen Fotos gezeigt werden, und im Vergleich dazu ebenfalls Fotos von einem Einbau in einen Wagen bis hin zum Prototyp.[1]

## 1.1 Formula SAE und FSG

Formula SAE ist der Name eines internationalen Konstruktionswettbewerbs, in dessen Rahmen Studententeams aus aller Welt mit selbst konstruierten und gefertigten Rennwagen miteinander konkurrieren.[2]

Die **Formula Student Germany** (FSG) wiederum bezeichnet einen Konstruktionswettbewerb für Studenten, welcher seit 2006 vom Verein Deutscher Ingenieure nach ähnlichen Regeln wie die Formula SAE organisiert wird. Im August jedes Jahres treffen sich internationale Studenten vier Tage lang am Hockenheimring, damit sie ihre Konstruktionen miteinander vergleichen und dabei der Industrie ihre Kreativität zeigen können. Für einen internationalen Austausch sorgen begleitende Veranstaltungen und eine gemeinsame Unterbringung auf dem benachbarten Zeltplatz.[2]

Der Bau und die Entwicklung der Fahrzeuge erfolgt von Studenten in Teamarbeit. Gebaut werden einsitzige Formelrennwagen. Neben dem Bau des schnellsten Fahrzeuges ist ebenfalls der Vergleich von Konstruktion, Finanzplanung und Verkaufsargumenten einer der Gründe für das Engagement bei diesem Wettbewerb.[2]

Formula Student ergänzt das Studium, damit die Studierenden Erfahrungen mit der Konstruktion und Fertigung und darüber hinaus den wirtschaftlichen Aspekten des Automobilbaus sammeln können. Eine fiktive Produktionsfirma, die ein Formelfahrzeug herstellen möchte, bildet die Grundlage. Ein Prototyp soll innerhalb des Wettbewerbes entstehen, der auf die Zielsetzung eines Rennbetriebs eines nicht-professionelle Wochenendrennfahrer zugeschnitten

ist. Dieser Monoposto soll preiswert, zuverlässig und einfach zu betreiben sein, und darüber hinaus gute Fahreigenschaften aufweisen.[2]

## 1.2 Zielsetzung

Die FSAE Rennwagen müssen eine Crashbox haben, die den Fahrer und Rahmen gleichermaßen bei Installation an der Bulkhead des Fahrzeugs schützen. Dieses Projekt umfasst die Planung, die Konstruktion mit unterschiedlichen Materialien, eine überschlagene Berechnung und Entwürfe.

# 2. Die Crashbox

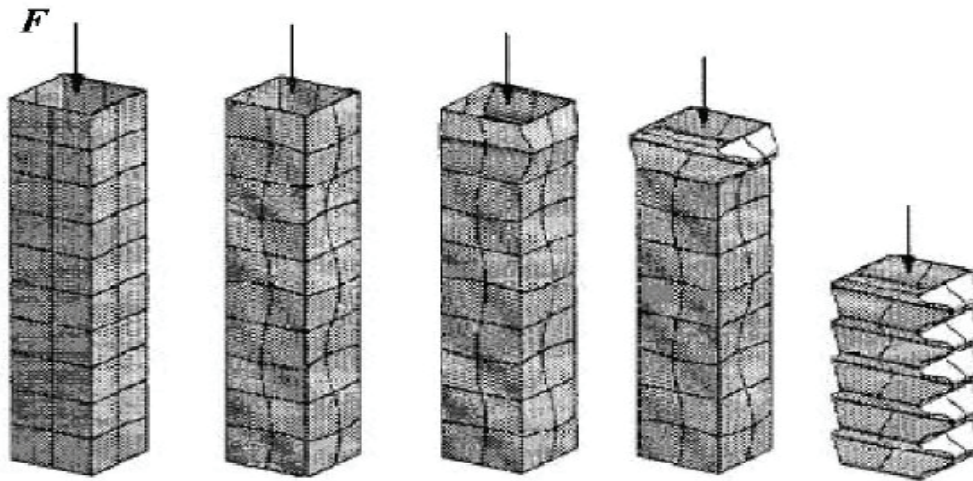
Wie fast jedes Serien- oder Rennfahrzeug verfügt auch der hier untersuchte Wagen über eine Crashstruktur. Die Aufgabenstellung besteht nun darin, bei einem Frontalaufprall den Fahrer und den Rest des Wagens vor Beschädigungen zu schützen und trotzdem möglichst wenig zu wiegen. Das Bauteil, das diesen Herausforderungen gerecht werden soll, ist die so genannte Crashbox. [3]

Das Formula Student Reglement gibt für die Crashbox klare Anforderungen vor, damit nicht aus Gewichtsgründen an der Sicherheit des Fahrers gespart wird. Eine Geschwindigkeit von ca. 20km/h soll von der Crashbox aufgenommen werden, was auf den ersten Blick sehr langsam erscheint, wobei der Wagen in dieser Rechnung nicht ungebremst aufprallt, sondern durch Bremsen, Reifenstapel oder Strohballen Einschlaggeschwindigkeit einbüßt.[3]

## 2.1 Grundprinzip

Durch Verformung und Mikrobrüche wird die Energie des Fahrzeugs beim Aufprall untersucht. Das kann so verdeutlicht werden: Verformungsarbeit

wird die Arbeit genannt, die nötig ist um einen Körper um einen bestimmten Weg plastisch zu verformen. [4]



**Sequence of axial column crush**

Abbildung 1: Axiale Druckbelastungen[14]

Wie Abbildung 1 verdeutlicht, setzt sich die Verformung der Crashbox unter Axialen Druckbelastungen aus folgenden Schritten zusammen:

1. Beim schwächsten Teil der Crashbox startet die Biegeverformung.
2. Bei weiter zunehmender Axialer Druckbelastung entsteht die ganze dünnwandige gekrümmte instabile Extrusion.
3. Daraufhin gibt der Rand der Crashbox nach, sie macht eine plastische Verformung und absorbiert die Aufprallenergie, wobei der Komponentenrand faltig wird und die Tragfähigkeit abnimmt.
4. Die plastische Verformung erhöht sich, der Rand wird weiter gefaltet und die Struktur ist zerdrückt.

## 2.2 Anforderungen

Entsprechend dem Regelwerk dürfen eine Spitzenbeschleunigung von 40g und eine mittlere Beschleunigung von 20g nicht überschritten werden. Die

Crashbox mindestens  $l=200\text{mm}$ ,  $b=200\text{mm}$ ,  $h=100\text{mm}$  groß sein, was durch die Verkleidung und die Rahmenmaße des Rennwagens markiert wird.

### 3. Überschlagenene Berechnung

Gegeben:

$$V_{\text{crash}} = 25 \text{ km/h} = 7 \text{ m/s} \quad \rho_{\text{PE}} = 2,2 \text{ kg/m}^3$$
$$V_{\text{end}} = 0 \text{ m/s} \quad \rho_{\text{Al}} = 2,7 \text{ kg/cm}^3$$
$$g = 9,8 \text{ m/s}^2 \quad \rho_{\text{Alu-wabe}} = 91,2 \text{ kg/m}^3$$
$$a_{\text{max}} = 20 \cdot g = 196 \text{ m/s}^2$$
$$m = 300 \text{ kg}$$

Kinetisch Energie:

$$E_k = 1/2 \cdot m \cdot (V_{\text{crash}})^2 = 7,35 \cdot 10^3 (\text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^2) = 7350 \text{ J}$$

Crash Zeit :

$$t_{\text{crash}} = V_{\text{crash}} / a_{\text{max}} = 0,036 \text{ s}$$

Impuls und Kraft:

$$I_m = m \cdot (V_{\text{crash}} - V_{\text{end}})$$

$$I_m = 6,3 \cdot 10^5 (\text{kg})/\text{s}^2$$

$$F = I_m / t_{\text{crash}}$$

$$F = 58,8 \text{ kN}$$

Verformungsweg:

$$s = a_{\text{max}} \cdot t_{\text{crash}} / 2 = 0,125 \text{ m} = 125 \text{ mm}$$



Steifigkeit:

$$k = F/s = 470400\text{N/m}$$

Masse von Variante 1:

$$m_{\text{variante1}} = 2 \cdot m_{\text{PE}} + 2 \cdot m_{\text{Alu}} + m_{\text{Aluwabe}} = 1,15514\text{kg}$$

Masse von Variante 2:(Solidworks)

Masseneigenschaften von CFK Crashbox

Ausgabekoordinatensystem : -- Standard --

$$\text{Dichte} = 1.78 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{Masse} = 706.97 \text{ g}$$

$$\text{Volumen} = 397.17 \text{ cm}^3$$

$$\text{Oberfläche} = 3986.08 \text{ cm}^2$$

Abmessung von Variante 1:

$$L \cdot B \cdot H = 275 \cdot 225 \cdot 230,794$$

Abmessung von Variante 2:(siehe die Zeichnung von CFK-Box)

## 5. Vorauswahl der Materialien der Crashbox

Die Materialien, aus denen eine Crashbox besteht, müssen die kinetische Energie durch Deformation aufnehmen können, wobei eine Belastung über den elastischen Bereich hinaus in den plastischen Bereich hinein stattfindet. Mögliche Materialien hierfür wären Aluminiumschaum, Aluminiumwaben, Kunststoffschaum, Stahl-und Aluminiumbleche, PE-Schaum, CFK und GFK.

Wichtig hier ist, dass sie Crashboxen sich auch im Falle seitlicher oder vertikaler Belastung nicht vom Rahmen lösen dürfen. (siehe Regelwerk B3.20.2)

## 4.1 Aluminiumschaum

Aluminiumschaum ist ein Leichtbaumaterial, welches gute Dämpfungseigenschaften aufweist und deshalb oft für Crashelemente Verwendung findet. Aluminiumschaum wirkt besonders gut mit bestehenden Konstruktionen zusammen, denn Eigenschaften wie hohe Steifigkeit bei wenig Gewicht, hervorragende Werte in der Energieabsorption und in der Schallreduktion speziell für Komponenten im Leichtbau mit besonderen Anforderungen von Vorteil. Aluminiumschaum bietet daher aufgrund seiner zellularen Struktur Eigenschaften wie:[5]

- Hohe Stoßenergieabsorption
- Druckfestigkeit
- Schwingungsreduktion
- Schallreduktion
- Eigenschwingungsreduktion
- Resonanzminderung
- EMV - Abschirmung
- geringe elektrische Leitfähigkeit
- geringe Wärmeleitfähigkeit



Abbildung 2 : Aluminiumschaum[15]

## 4.2 Aluminiumwabe

Sogenannte Honeycomb-Materialien werden häufig in Sandwich-Strukturen verwendet, denn sie bringen eine hohe Festigkeit bei einer relativ leichten Struktur mit sich. Sind im Falle der Aluminiumwaben leicht und nicht brennbar, wiederverwertbar, haben Druckfestigkeit, sind beständig gegen Kompression und verderben nicht. Sie können vielfältig und deshalb in verschiedenen Sektoren angewendet werden:

- im Transportsektor: von der Bahn- bis zur Schifffahrtsindustrie
- als Bestandteil von Maschinen, im Siebdruck, im Bauwesen u.s.w.

Im sogenannten Sandwich Paneel bilden sie den Kern, und Produkte aus diesem Materialien wären beispielsweise Böden, Decken, Türen, Trennwände, Fassaden, Flächen für automatisch funktionierende Maschinen und alle Produkte, welche bei denen Steifigkeit und Gewicht in einem guten Verhältnis auftreten sollen. Sie sind ideal, wenn das Produkt die folgenden Merkmale aufweisen soll:[6]

Leichtigkeit

Steifigkeit

Feuerfestigkeit

Druckfestigkeit und Beständigkeit gegen Kompression und Korrosion

Ebenheit

Ein Einsatz der Waben als Deflektor, der Luftströmungen kanalisiert und gleichrichtet, ist ohne Deckschichten ebenfalls möglich. Falls eine Kompression auftritt, wird die kinetische Energie von der Wabe aufgenommen (Aufprallabdämpfung)

.

.

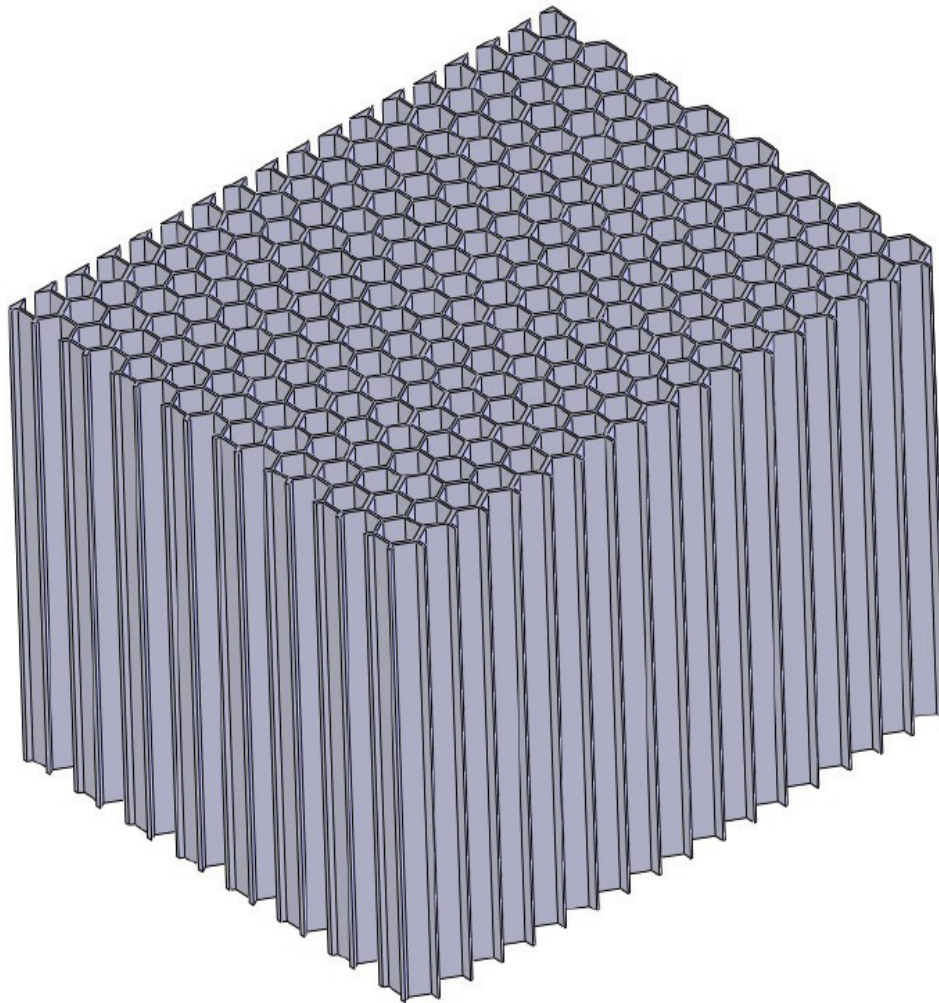


Abbildung 3: Aluminiumwabe-CAD-Model

## 4.3 Kunststoffschaum

Kunststoffschäume haben als Vorteile ein gutes Dämpfungsverhalten und eine günstige Beschaffung. Durch das Materialmodell entstehen bei der Berechnung und Simulation von Schäumen leicht Abweichungen und fehlerhafte Ergebnisse. d Kunststoffschäume müssen gemäß des Regelwerks in Metallboxen eingefasst werden, um eine höhere Komplexität der Simulation zu erreichen.

Bei Boxen aus Kunststoffschaum erfolgt durch Klebstoff eine Befestigung an der Al-Platte. Da Kunststoffschaum kein besonders festes Material ist,

müssen besonders große Crashelemente gefertigt werden, damit die geforderten maximalen Beschleunigungswerte erzielt werden können.

Zu den besonderen Eigenschaften des Kunststoffschlams gehören:

- ein geringes Gewicht
- Preiswert
- Absorption von Stößen
- Lösungsmittelbeständigkeit
- Bruch- und Rissfestigkeit
- Gut Verarbeitbarkeit
- eine poröse Oberfläche

## 4.4 Stahl – und Aluminiumbleche

Stahl- und Aluminiumbleche sind einfach und günstig beschaffbar und umformbar.

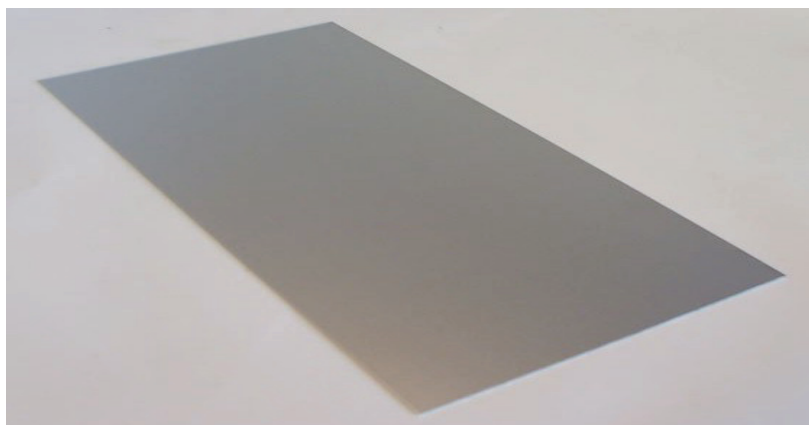


Abbildung 4: Stahl-Aluminium Bleche[16]

## 4.5 CFK ( Kohlenfaserverstärkter Kunststoff )

Kohlenstofffaserverstärkter Kunststoff, welcher auch als CFK (Carbonfaserverstärkter Kunststoff, englisch carbon-fiber-reinforced plastic, CFRP) oder umgangssprachlich nur als Carbon (engl. für Kohlenstoff) bezeichnet



wird, meint einen Faser-Kunststoff-Verbundwerkstoff, bei dem Kohlenstofffasern meist mehrlagig zur Verstärkung in eine Kunststoff-Matrix integriert werden.

Diese Matrix ist meist aus Duromeren, beispielsweise Epoxidharz oder aus Thermoplasten, und im Falle thermisch hochbelasteter Bauteile (z. B. Bremsscheiben) ist auch eine Einbindung der Kohlenstofffaser in eine Matrix aus Keramik (siehe keramische Faserverbundwerkstoffe) möglich. In Sonderfällen mit extremer Belastung finden meist kurzfaserverstärkte Metalle, sogenannte Metallmatrix-Verbundwerkstoffe (engl. metal matrix composites, MMC), Anwendung.[7]

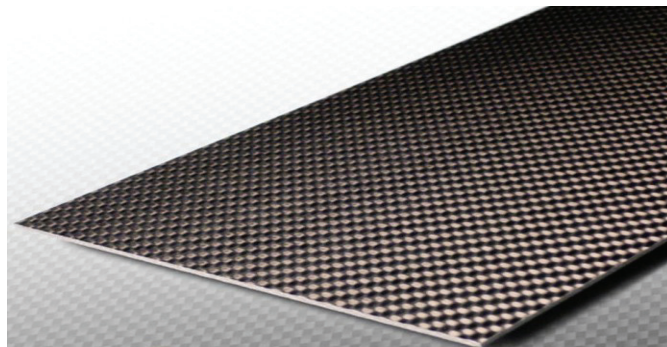


Abbildung 5: CFK[17]

## 4.6 GFK (Glasfaserverstärkter Kunststoff )

Glasfaserverstärkte Kunststoffe eine Form des Faser-Kunststoff-Verbunds, welche preisgünstig und trotzdem hochwertig sind und in mechanisch hoch beanspruchten Anwendungen ausschließlich in Form einer Endlosfaser in Geweben oder UD-Bändern verwendet werden.[8]

Wenn Faser-Kunststoff-Verbunden aus anderen Verstärkungsfasern mit dem glasfaserverstärkten Kunststoff verglichen werden, weist dieser ein relativ niedriges Elastizitätsmodul auf, das selbst in Faserrichtung unter dem von Aluminium liegt. Bei hohen Steifigkeitsanforderungen ist GFK deshalb ungeeignet. Die Glasfaser weist im Verbund mit einer passenden Kunststoffmatrix eine hohe Bruchdehnung und eine elastische Energieaufnahme auf, weswegen besonders Blattfedern und ähnliche Bauteile aus diesem Material hergestellt werden.[8]

Glasfaserverstärkte Kunststoffe weisen auch in einer aggressiven Umgebung ein ausgezeichnetes Korrosionsverhalten auf, weshalb er häufig für Behälter im Anlagenbau oder auch für Bootsrümpfe verwendet wird. Seine Dichte liegt über der von kohlenstofffaserverstärktem Kunststoff, was bei solchen Anwendungen in Kauf genommen wird. Wenn er mit einer geeigneten Matrix ausgerüstet ist, hat glasfaserverstärkter Kunststoff eine gute elektrische Isolationswirkung, weshalb er ein gut brauchbaren Werkstoff für die Elektrotechnik ist, und beispielsweise Isolatoren, welche große mechanische Lasten übertragen können müssen, werden aus glasfaserverstärktem Kunststoff hergestellt. Schaltschränke für den Außenbereich bestehen aufgrund seiner Beständigkeit und Stabilität oft aus GFK.[8]

## **4.7 PE-Schaum( Polyethylen-Schaum)**

Polyethylenschaum ist die Bezeichnung eines geschlossenzelligen synthetischen Schaums, welcher dort eingesetzt wird, wo eine geschlossene Zellstruktur gewünscht wird. Es können hierbei vernetzte und unvernetzte Typen unterschieden werden. Außerdem ist eine Verwendung als Dichtungsmaterial, der Einsatz in Sportprodukten (Sportmatten) und für den Außenbereich (Campingmatten) und darüber hinaus zur Versteifung oder Abdichtung im Fahrzeugbau üblich.[9]

Mögliche intensive Farben verleihen den Produkten ein attraktives visuelles Erscheinungsbild, und durch die Vielfalt dieser Schaumgruppe sind sehr viele Anwendungsmöglichkeiten realisierbar.[9]

PE-Schäume werden geschnitten, gestanzt, mittels Wasserstrahl geschnitten, selbstklebend ausgerüstet und auch thermisch verformt hergestellt.[9]





Abbildung 6: PE-Schaum[18]

Anwendungsbereiche sind:

- die Bauindustrie
- die Fahrzeugindustrie
- die Elektrogeräteindustrie
- die Medizintechnik
- der Maschinenbau

## 4.8 Ergebnisse der Vorauswahl

Die oben genannten Materialien werden häufig in der Automobilindustrie für die Crashbox verwendet, und hier wird ein Vergleich zwischen einigen der besten Materialien angestellt.

Die Materialien für die Crashelemente sind in Tabelle 1 aufgeführt. Es werden pro Eigenschaft maximal 5 Punkte vergeben, und demnach erhält das Material mit den besten Eigenschaften 5 Punkte, und mit der abnehmenden Qualität der Eigenschaften wird jeweils 1 Punkt angerechnet. Das Material mit den meisten Punkten in der Endsumme (maximal 30 Punkte möglich) ist das für die Crashbox am besten geeignetste Material.

<i>Material</i>	<i>Kosten</i>	<i>Beschaffung</i>	<i>Simulations-Aufwand</i>	<i>Gewicht</i>	<i>Größe</i>	<i>Herstellbarkeit</i>	<i>Summe</i>
<i>Aluminium-schaum</i>	3	3	3	4	2	3	18
<i>Aluminium-Wabe</i>	4	4	4	5	4	4	25
<i>Kunststoff-Schaum</i>	4	4	2	3	1	3	17
<i>Aluminium-und Stahlblech</i>	3	3	4	2	3	4	19
<i>CFK</i>	3	4	4	5	5	3	24
<i>GFK</i>	2	2	3	2	2	1	12
<i>Polyethylen-Schaum</i>	3	4	4	4	3	3	21

Tabelle 1 :Material vergleichen 1

	<i>Wichtungsfaktoren</i>	<i>Aluminium-schaum</i>		<i>Aluminium-wabe</i>		<i>Kunststoff-schaum</i>		<i>Aluminium-und Stahlblech</i>		<i>CFK</i>		<i>GFK</i>		<i>PE-schaum</i>	
<i>Kosten</i>	0,3	3	0,9	4	1,2	4	1,2	3	0,9	3	0,9	2	0,6	3	0,9
<i>Größe</i>	0,2	2	0,4	4	0,8	3	0,6	4	0,8	5	1,0	2	0,4	3	0,6
<i>Gewicht</i>	0,5	4	2	5	2,5	3	1,5	2	1,0	5	2,5	2	1,0	4	2,0
			3,3		4,5		3,3		2,7		4,4		2,0		3,5
		<b>4.PLZ.</b>		<b>1.PLZ.</b>		<b>4.PLZ.</b>		<b>6.PLZ.</b>		<b>2.PLZ.</b>		<b>7.PLZ.</b>		<b>3.PLZ.</b>	

Tabelle 2 :Material vergleichen 2

Die Wahl der Materialien fiel gemäß der Tabelle auf die Aluminiumwabe (25 von 30 Punkten), und CFK (24 von 30 Punkten) möglichen Punkten erreichte die zweithöchste Punktzahl. Beide Materialien sind deshalb die hauptsächlichen Materialien meiner Crashbox-Variante, und darüber hinaus wurden mit Aluminium – und Stahlblech (19 von 30 Punkten) und PE-Schaum (Polyethylen-Schaum, 21 von 30 Punkten) zwei weitere Materialien ausgewählt. Meine zwei Konstruktionsvarianten einer Crashbox werde ich später genauer erklären.

## 5. Neuheiten bei Crashboxen 2012

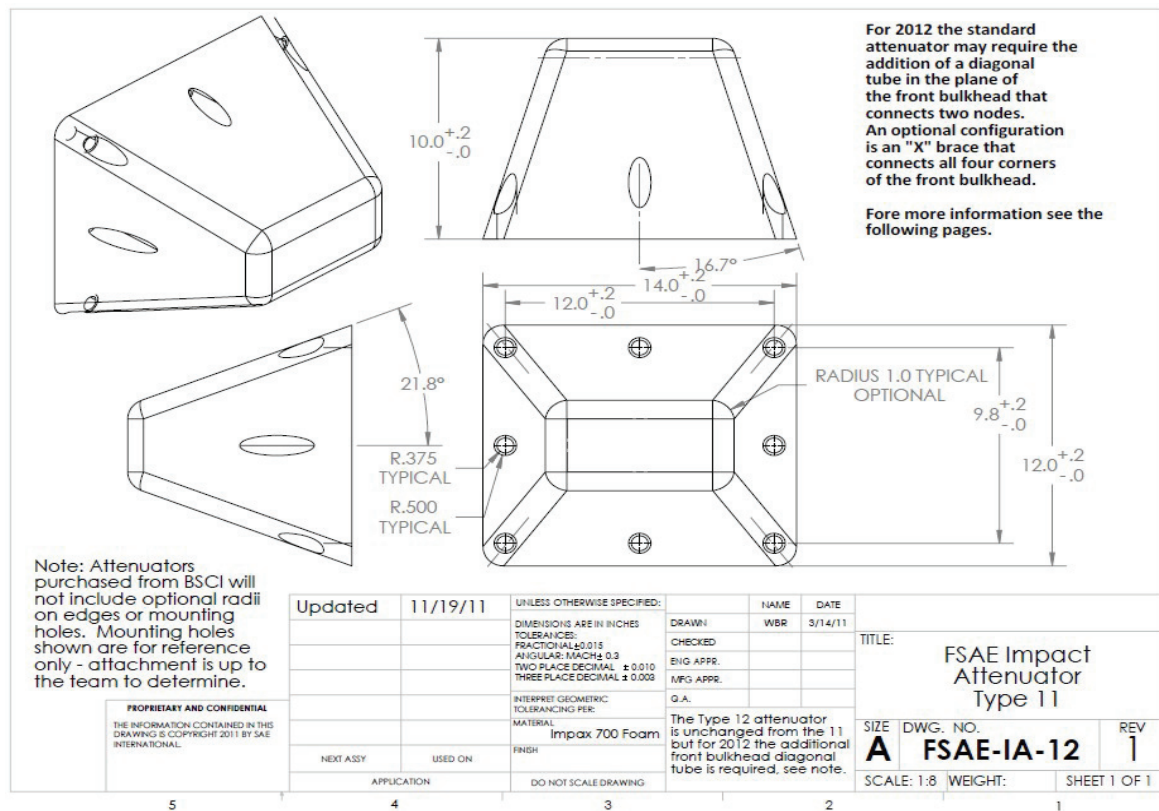


Abbildung 7: FSAE Impact Attenuator Type 11[10]

Seit 2012 wird für die Crashbox verlangt, dass ein diagonales Rohr in der Ebene der Stirnwand eingefügt wird, welches zwei Knoten verbindet. Eine optionale Konfiguration hierfür ist eine "X" Klammer, mit der alle vier Ecken der Stirnwand verbunden werden. Weitere Informationen hierzu beinhalten die folgenden Seiten.

Hinweis: Dämpfungsglieder des BSCI enthalten keine optionale Radenbefestigung an Kanten oder Löchern, und Befestigungsbohrungen sind nur für die Orientierung, bis das Team die Ermittlung der Anlage abgeschlossen hat .

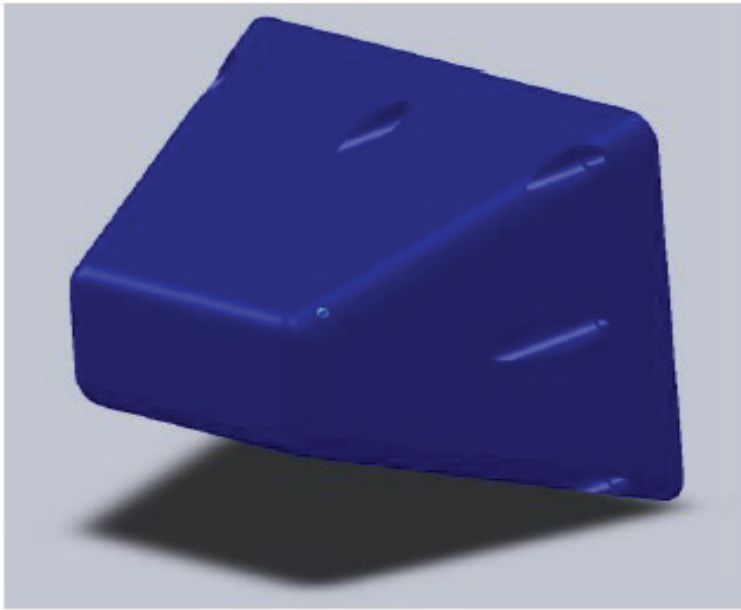


Abbildung 8: Standard IA TYPE12[10]

- Der 2012-(Typ 12) Crashbox ähnelt geometrisch dem 2011er (Typ 11).
- Für den 2012-Crashbox können entweder der 2011er oder 2012er erworben verwendet, da beide identisch sind. Eine neue Anforderung für das Jahr 2012 besagt, dass ein Querrohr in der Bulkhead aufgenommen werden muss, falls die Größe der Bulkhead maximal 25 mm (1 Zoll) auf jeder Seite der Crashbox beträgt. (siehe kommende Seite)

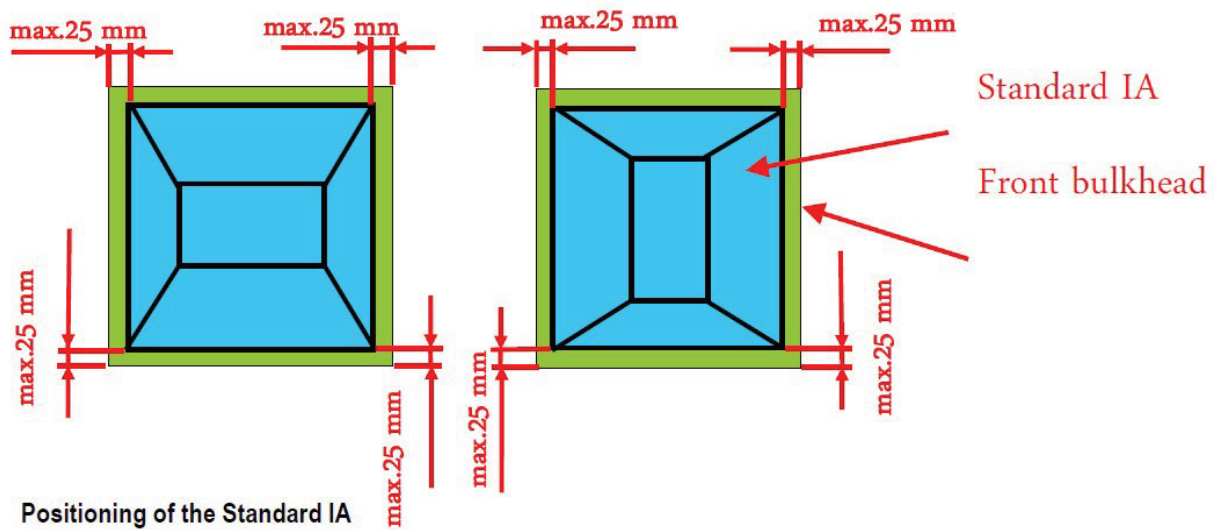


Abbildung 9: Position von Standard IA\_1[10]

- Die Montage der Crashbox ist in jeder Orientierung möglich. Falls einige der Dimensionen die Werte unter einer zusätzlich gegebenen Diagonale übertreffen, muss dies in der Bulkhead beinhaltet sein. (siehe kommende Seite)
- Das diagonale Rohr ist im Falle der Vorder-Schotten größer als die erforderlichen unten, da sonst die Al-Platte mehr als erlaubt von B3.21.9 ablenken könnte.

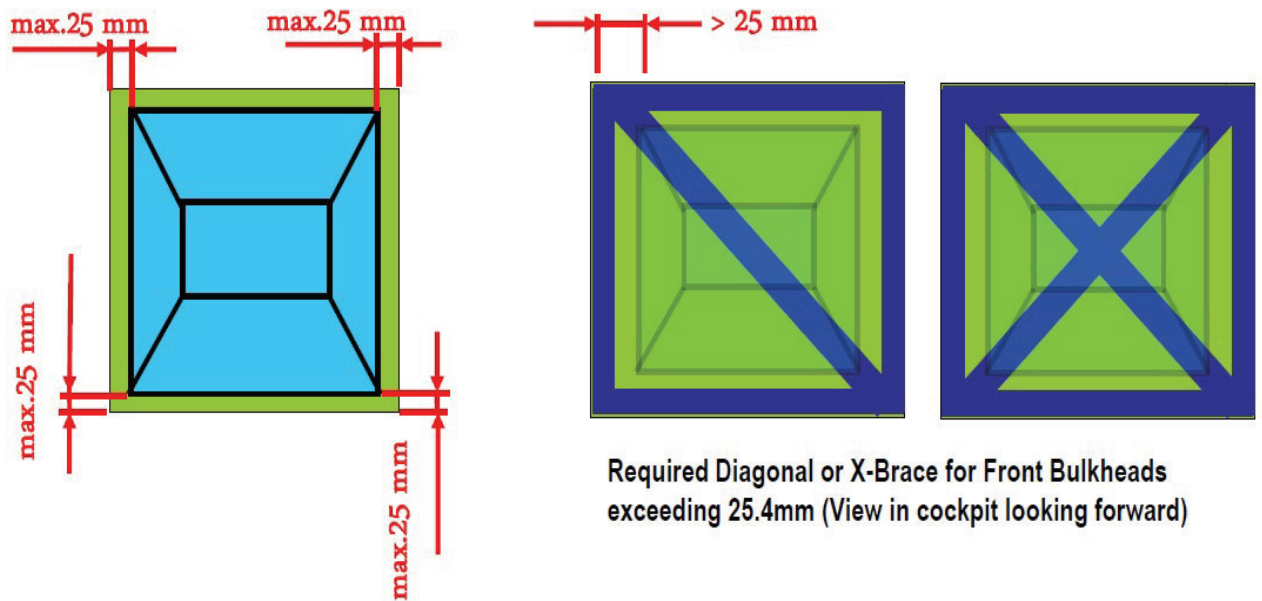


Abbildung 10: Position von Standard IA\_2[10]

- Falls die vordere Bulkhead über den 25mm-(1 Zoll)Anforderungen auf jeder Seite liegt, muss zusätzlich mindestens ein diagonales Rohr aufgenommen werden.
- Die Röhre (n) muss den Anforderungen des 3.3.1 Stirnwand-Tubing oder einem Äquivalent entsprechen.
  - ✓ ☐ Runde 1,0 Zoll (25,4 mm) x 0,049 Inch (1,25 mm)
  - ✓ ☐ Siehe Regel 3.3.1 für andere Optionen

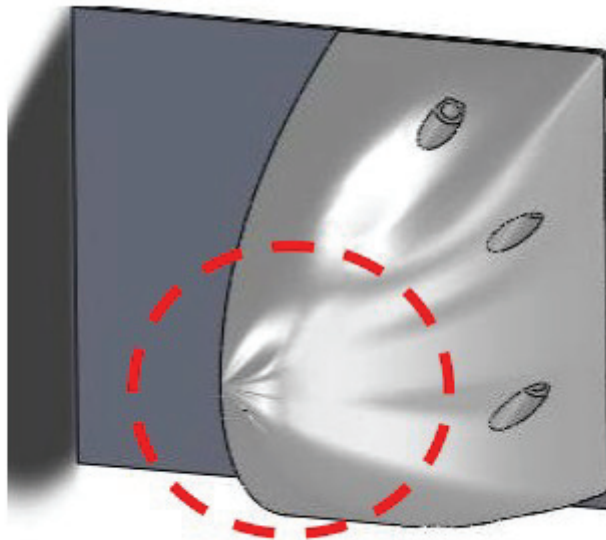


Abbildung 11: Beachtung bei Verrundungen[10]

- Es sind keinerlei Änderungen an der Geometrie der Crashbox außer den Verrundungen/ Radien der Zeichnung erlaubt.
- Nicht erlaubt sind ein geändertes Design oder veränderte Abmessungen für den Standard- IA Typ12.

Folgende Angaben sollten nun mitsamt ihrer Auswirkungen vorgelegt werden bei der Crashbox-Dateneingabe-Beschreibung:

- das Design von IA und die Positionierung zu AIP (Dimensionen)
- die Dimension der Stirnwand
- das Design von AIP (Material, Dicke, Dimensionen)
- die Anbau-Methode der IA der AIP
- die Anbau-Methode des AIP an der Stirnwand
- der Erhalt des Materials, einen Lieferschein oder Spendenbrief

## 6. Überlegungen zur Crashbox

### 6.1 Crashboxvarianten

Zunächst werden hier zwei imaginäre Crashboxvarianten vorgestellt:

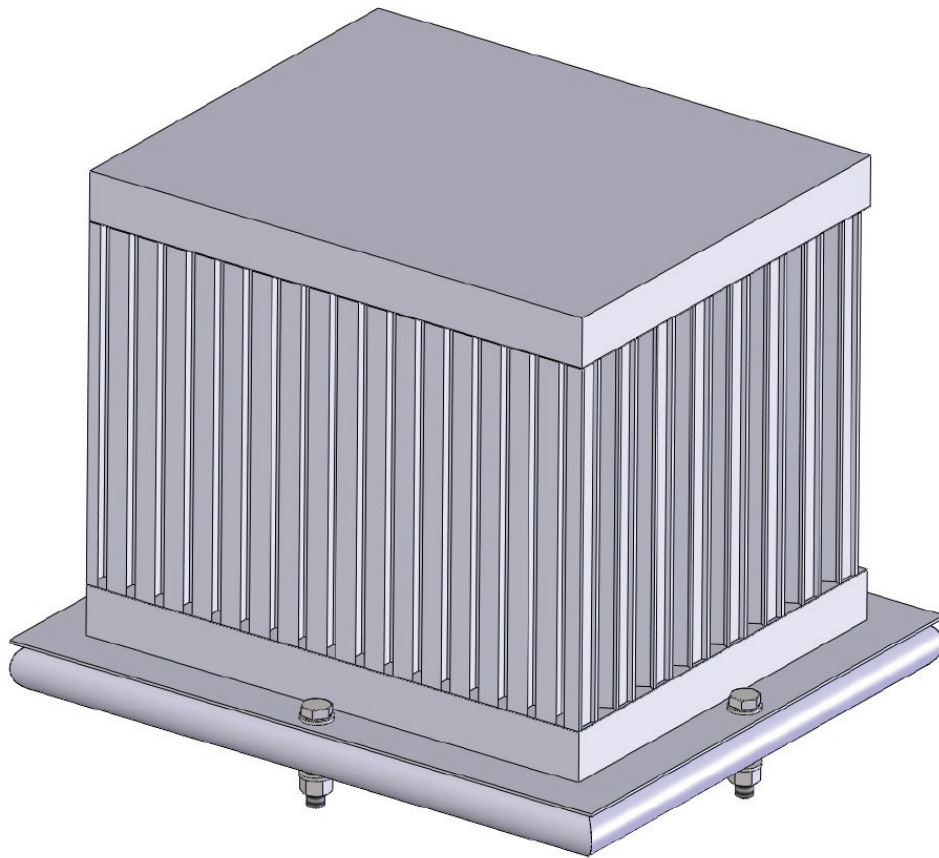


Abbildung 12: Variante1

1. Variante: Die erste hier erwähnte Crashbox besteht aus doppelt angewendeten und hochdichten PE-Schaum, sowie zwei entsprechend dünnen Aluminiumblechen und einem Aluminiumwabenkern. Dazu wird noch eine Anti-Platte in Verwendung genommen.



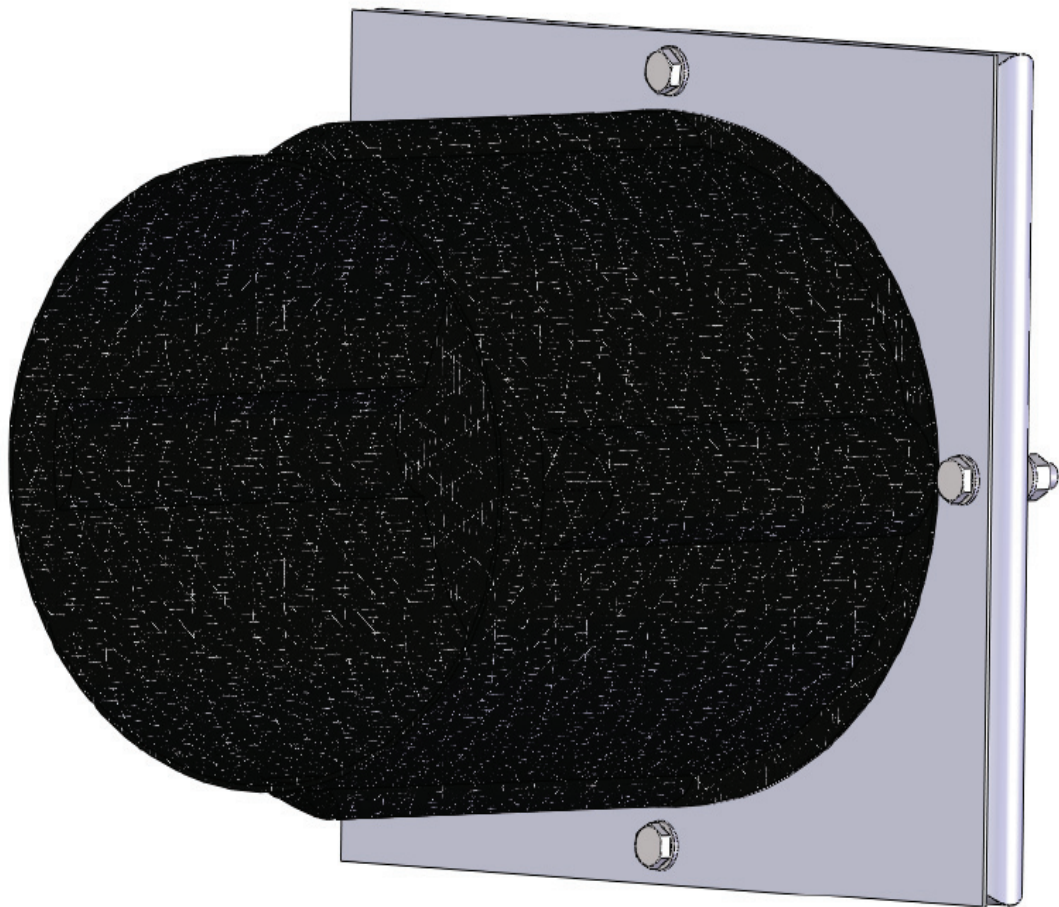


Abbildung 13: Variante 2 : CFK - Crashbox

## 6.1.1 Überlegungen und Erklärungen zur Variante 1

- Der Polyethylen-Schaum dient in seiner Verwendung zur Verringerung der Beschleunigung in Bezug auf einen Spitzenwert. Ist es in diesem Fall so, dass sich der Wabenstrukturblock in einer singulären Form befindet, so besteht die Möglichkeit einer vollständigen Komprimierung der Wabenwirkung, was zu einer Kollision von harten Werkstoffen führen kann, wobei die völlig zusammengedrückte Aluminiumwaben, welcher aus nur einer Stahlplatte besteht darunter gedrückt wird. Der Schaum trägt dazu bei, Schwingungen abzdämpfen, welche durch eine entsprechend harten Kollision hervorgerufen werden.
- Aufgrund der Tests in Bezug auf die Auswirkungen lässt sich sagen, dass die Größe und Form des Schaums erhalten bleibt, wobei bei einer entsprechenden Komprimierung die oberen und unteren Schichten des Polyethylen-Schaums die Funktionsweise einer Federung übernimmt, damit ein Abstoßen der Dropdown-Tester von der Crashbox erfolgen kann. Bei einem Autounfall ist es hierbei so, dass die Crashbox Schieben des Autos weg von einer nicht nachgiebiger Barriere übersetzen. Zudem ist es dadurch möglich, dass kleinere Stöße, die wenig oder keine Verformung der Wabe verursachen, dazu beitragen, dass die Crashbox wieder verwendet werden kann.
- Im Fall der nur partiellen Zerschlagung der Aluminiumwaben, ist es Möglich die Größe des Blocks zu reduzieren, damit eine Optimierung des Gewichts erfolgen kann.
- In der Vorgehensweise wird sich hierbei dafür entschieden Blätter zwischen die Waben und den Schaum zu setzen, damit ein Durchdringen des Schaums durch die Lücken, während eines Aufpralls vermieden werden kann und somit die Platten den Schaum auf diese Weise schützen kann, damit der Zweck weitestgehend verwirklicht werden kann.

## 6.1.2 Überlegungen und Erklärungen zur Variante 2

In diesem Fall handelt es sich um eine einfache 3D-Variante wobei erklärend auf die Material Arten und das Recycling eingegangen werden soll.

Geflechte: Zu dieser Gruppe sind insbesondere das Band- als auch das Rundgeflecht zu zählen, welche sich ebenfalls, wie es auch bei den anderen Geweben der Fall ist, einander umschlingen und somit Flechtfäden bilden. Kommt es nun noch zu einem Hinzufügen von zusätzlichen Fäden in 0°-Richtung bei der Verflechtung, welche auch als Stehfäden bezeichnet werden, so ergibt sich das resultierend Produkt in einem triaxialen Geflecht. Zudem lässt sich erwähnen, dass das sogenannte UD-Geflecht eine weitere Rundgeflecht-Spezialität bildet. Besonders ist hierbei, dass nur die Hälfte der Flechtfäden aus den eigentlichen Verstärkungsfasern besteht, während die andere Hälfte aus dünnen Stützfäden genutzt wird. Dies hat zur Folge, dass die gesamten Fasern insgesamt gestreckt sind und zu einander parallel verlaufen, wodurch eine stark gekrümmte Fixierung der Stützfäden erreicht wird.

Bei der Nutzung der dreidimensionalen Halbzeugen soll in Bezug auf das zukünftige Bauteil eine Erreichung einer zusätzlichen Verstärkung in Dickenrichtung erzielt werden oder aber zumindest eine Erhöhung des Delaminationswiderstands zu gewährleisten. Zudem soll eine Verbesserung der mechanischen Eigenschaften in Bezug auf die Belastungsrichtung erreicht werden, was durch möglichst gestreckte Fasern erfolgen kann (besonders wenn man dies mit den Geweben vergleicht), wodurch wiederum dem Preforming weitere Möglichkeiten eröffnet werden kann.

3D-Geflechte: Unter Verwendung der 3D-Flechten besteht die Möglichkeit der Herstellung von nahezu beliebigen dreidimensionalen Formen. Hierbei können beispielsweise hohle und massive Profile angeführt werden, welche über die Möglichkeit verfügen, eine Veränderung der Felgen und Technologien der Querschnittsgeometrie und der Faserwinkel hervorzurufen, was während des Flechten geschieht. Dabei ist es ebenfalls möglich Stehfäden hinzu zu führen.

- Recycling

In Bezug auf das Recycling lässt sich sagen, dass die Art und Weise der Wiederverwendung von Faser-Kunststoff-Verbunden davon abhängt, wie dessen Matrixsystem aufgebaut ist. Dabei ist jedoch zu erwähnen, dass für alle Verbunde eine vollständige stoffliche Wiederverwertung, wie es bei Metallen der Fall ist, nicht ermöglicht werden kann.

Hierbei werden nun für die Variante 2 3D-Geflechte gewählt, da diese unseren Anforderungen am ehesten entsprechen.

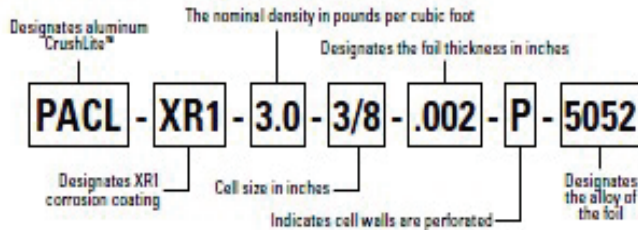
### 6.1.3 Aluminiumwabe

Damit für die Untersuchung ein Kernteil der Aluminiumwabe in Bezug auf die Variante 1 zur Verfügung steht, wurde das Unternehmen Plascore Email angeschrieben, welches jedes Jahr die Formula Student Teams in aller Welt mit kleinen Crashboxen zu je 30€ das Stück beliefern. Dabei hat mit Herr Robert Huebner mit einigen Vorschlägen hilfreich zur Seite gestanden.

Das genutzte Material ist PACL-5.7-3/16-P-5052, welches vorgestaucht ist und eine Stauchfestigkeit von 375 PSI aufweist. Diese Angaben wurden auch in der nachstehenden Tabelle aufgeführt.

## CrushLite™ is specified as follows:

Material - Density - Cell Size - Foil Thickness - Perforated - Alloy



## Availability:

CrushLite™ aluminum honeycomb is available in untrimmed sheets, cut to size, machined, or die cut. Precrushing, load certification, and other operations are available upon request.

Cell Sizes: 1/8" - 1"  
Densities: 0.6 pcf - 8.1 pcf  
Sheet "Ribbon" (L): 48" typical maximum  
Sheet "Transverse" (W): 96" typical maximum  
Sheet "Thickness" (T): up to 32" maximum

NOTE: Maximum sheet size, thickness, and precrush may be limited on certain core types. Contact a Plascore Representative to determine availability.

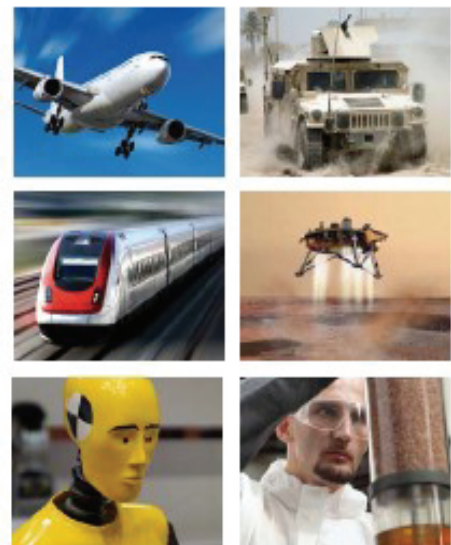
Plascore Honeycomb Designation					Crush Properties		
Nominal Density (pcf)	Cell Size (Inch)	Foil Gauge (Inch)	Available in Perforated	Foil Alloy	Crush Strength <sup>1</sup> (psi)	Standard Crush Tolerance (+/- psi)	Minimum Stroke <sup>2</sup> (Inch)
0.6	3/4	.0007	+	5052	7.5	2.5	70
1.0	1	.002	+	3003	10	2	70
1.4	1	.003	+	3003	25	5	70
1.0	3/8	.0007	+	5052	25	5	70
1.0	3/8	.0007	+	5056	35	5	70
1.6	3/8	.001	+	5052	45	4.5	70
1.8	3/4	.003	+	3003	45	4.5	70
1.6	1/4	.0007	+	5056	50	5	70
2.0	3/16	.0007	+	5052	75	7.5	70
2.3	3/8	.0015	+	5052	80	8	70
2.3	1/4	.001	+	5052	90	9	70
2.3	1/4	.001	+	5056	100	10	70
3.0	3/8	.002	+	5052	120	12	70
3.6	3/8	.003	+	3003	120	12	70
3.1	1/8	.0007	+	5052	130	13	70
3.4	1/4	.0015	+	5052	140	14	70
3.1	1/8	.0007	+	5056	170	17	70
3.7	3/8	.0025		5052	180	18	70
4.2	3/8	.003		5052	210	21	70
4.3	1/4	.002	+	5052	230	23	70
5.2	1/4	.003	+	3003	245	24.5	70
4.5	1/8	.001	+	5052	275	27.5	70
4.5	1/8	.001	+	5056	320	32	70
5.2	1/4	.0025		5052	330	33	70
5.4	3/8	.004		5052	350	35	70
5.7	3/16	.002	+	5052	380	38	70
6.0	1/4	.003		5052	420	42	70
5.7	3/16	.002	+	5056	440	44	70
6.1	1/8	.0015	+	5052	450	45	70
6.1	1/8	.0015	+	5056	535	53.5	70
8.1	1/8	.002	+	5052	700	70	70
8.1	1/8	FC	+	5052	750	75	70

<sup>1</sup> Crush Strength  
<sup>2</sup> Minimum Stroke  
Tested per ASTM D7026



Plascore, Inc., employs a quality management system that is AS/NZS ISO 9001, ISO 9001:2008 and ISO 14001:2004 certified.

**IMPORTANT NOTICE:** The information contained in these materials regarding Plascore's products, processes, or equipment, is intended to be up to date, accurate, and complete. However, Plascore cannot warrant that this is always the case. Accordingly, it is a purchaser's or user's responsibility to perform sufficient testing and evaluation to determine the suitability of Plascore's products for a particular purpose. Information in these materials and product specifications does not constitute an offer to sell. Your submission of an order to Plascore constitutes an offer to purchase which, if accepted by Plascore, shall be subject to Plascore's terms and conditions of sale. PLASCORE MAKES NO WARRANTIES OF ANY KIND REGARDING THESE MATERIALS OR INFORMATION, EITHER EXPRESS OR IMPLIED, INCLUDING WITHOUT LIMITATION THE IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. Plascore owns and shall retain all worldwide rights in its intellectual property, and any other trademarks used in these materials are the property of their respective owners. The information in these materials shall not be construed as an inducement, permission, or recommendation to infringe any patent or other intellectual property rights of any third parties. © 2012 Plascore, Inc. All Rights Reserved. v01.12



## Corporate Headquarters

**Plascore Incorporated**  
615 N. Fairview St.  
Zeeland, MI 49484-0170  
USA

Phone (616) 772-1220  
Toll Free (800) 630-9257  
Fax (616) 772-1289

Web [www.plascore.com](http://www.plascore.com)  
Email [sales@plascore.com](mailto:sales@plascore.com)

## Europe

**Plascore GmbH & Co KG**  
Feldborn 6  
D-55444 Waldlaubersheim  
Germany

Phone +49(D) 6707-9143 13  
Fax +49(D) 6707-9143 40

Web [www.plascore.de](http://www.plascore.de)  
Email [sales.europe@plascore.com](mailto:sales.europe@plascore.com)





Plascore Honeycomb Designation					Crush Properties		
Nominal Density lbs/ft <sup>3</sup>	Cell Size (Inch)	Foil Gauge (Inch)	Available in Perforated	Foil Alloy	Crush Strength <sup>1</sup> (psi)	Standard Crush Tolerance (+/- psi)	Minimum Stroke <sup>2</sup> (%)
0.6	3/4	.0007	+	5052	7.5	2.5	70
1.0	1	.002	+	3003	10	2	70
1.4	1	.003	+	3003	25	5	70
1.0	3/8	.0007	+	5052	25	5	70
1.0	3/8	.0007	+	5056	35	5	70
1.6	3/8	.001	+	5052	45	4.5	70
1.8	3/4	.003	+	3003	45	4.5	70
1.6	1/4	.0007	+	5056	50	5	70
2.0	3/16	.0007	+	5052	75	7.5	70
2.3	3/8	.0015	+	5052	80	8	70
2.3	1/4	.001	+	5052	90	9	70
2.3	1/4	.001	+	5056	100	10	70
3.0	3/8	.002	+	5052	120	12	70
3.6	3/8	.003	+	3003	120	12	70
3.1	1/8	.0007	+	5052	130	13	70
3.4	1/4	.0015	+	5052	140	14	70
3.1	1/8	.0007	+	5056	170	17	70
3.7	3/8	.0025		5052	180	18	70
4.2	3/8	.003		5052	210	21	70
4.3	1/4	.002	+	5052	230	23	70
5.2	1/4	.003	+	3003	245	24.5	70
4.5	1/8	.001	+	5052	275	27.5	70
4.5	1/8	.001	+	5056	320	32	70
5.2	1/4	.0025		5052	330	33	70
5.4	3/8	.004		5052	350	35	70
5.7	3/16	.002	+	5052	380	38	70
6.0	1/4	.003		5052	420	42	70
5.7	3/16	.002	+	5056	440	44	70
6.1	1/8	.0015	+	5052	450	45	70
6.1	1/8	.0015	+	5056	535	53.5	70
8.1	1/8	.002	+	5052	700	70	70
8.1	1/8	FC	+	5052	750	75	70

Tabelle 3: Plascore Aluminiumwabe[13]

## 6.1.4 Polyethylen-Schaum

Als nächstes wurde ein Material ausgewählt, dass mit geschlossenen Zellen Auswirkungen aufweist, welches durch den Polyethylen-Schaum dargestellt

ist. Hierbei ist das Material besonders für seine Stoßdämpfung bekannt, was insbesondere in der Verwendung von Verpackungsmaterialien gefunden werden kann, damit Schäden während des Transports vermieden werden können. Zudem taucht es häufig in einer Reihe von Flotation-Geräten auf. In diesem Zusammenhang bedeutet „geschlossen-zellig“, dass Zwischenräume durch das Material derart besetzt sind, dass ein fester und widerstandsfähiger Transport gegen Stöße abgesichert ist. Ebenfalls ist nennenswert, dass das Material aufgrund seiner Struktur eine erhöhte Druckfestigkeit und besonders große Dichte aufweist. Bei der Verwendung von offenzelligem Schaum ist darauf zu achten, dass dieser Platz für Luftblasen aufweist, welche die Konsistenz des Materials weicher erscheinen lässt und wodurch es anfälliger für Flüssigkeiten wird. Dieses ist besonders für die Verwendung unter geringen Kräften anzuwenden. In Zusammenhang auf die Crashbox lässt sich sagen, dass der geschlossene Schaumstoff für die von uns angestrebte Verwendung am geeignetsten ist. Nachfolgend können die Eigenschaften des Schaums in der Tabelle aufgefunden werden.

<i>Eigenschaften</i>	<i>Zelle (Zellen / Zoll)</i>	<i>Dichte (kg / m <sup>3</sup>)</i>	<i>Festigkeit IPS</i>	<i>Kompression Kriechen (%)</i>
2.2 LB	24	2.2	14	148

Tabelle 4: Eigenschaften von PE-schaum

## 7. Konstruktion

### 7.1 Komponenten der Crashbox

#### 7.1.1 Bulkhead

Der Stahlgitterrohrrahmen des Rennwagens verfügt über einen Teil an dem die Crashboxeinheit angebracht wird, welcher allgemein als Bulkhead bezeichnet wird. Dabei ist darauf zu achten, dass die Größe des Bulkheads insbesondere von der Konstruktion des Rahmens abhängig ist.

### 7.1.2 AI-Platte (Anti-Intrusion-Plate)

Zum Schutz des Fahrers wird ein Gebilde genutzt, welches als Anti-Intusion-Plate bekannt ist, wodurch ein eventuelles Eindringen der Crashbox in den Fahrerraum vermieden wird. Hierbei ist darauf zu achten, dass nach den Angaben des Regelwerks die AI-Platte aus Stahlblech bei einer Materialstärke von  $t=1,5$  mm oder aber aus Aluminiumblech von mindestens  $t=4$ mm aufweisen muss. (siehe Regel B20.4)

### 7.1.3 Variantenvergleich und Auswahl zwischen verschweißter und verschraubter AI-Platte.

Unter Verwendung einer solchen AI-Platte kann diese mit dem Bulkhead entweder verschraubt oder aber auch verschweißt werden. Im Fall des Verschweißens der AI-Platte, muss darauf geachtet werden, dass dies bis zur Mittellinie der Bulkheadrohre erfolgt. Ebenfalls ist darauf zu achten, dass eine verschraubte AI-Platte mindestens die äußeren Abmaße des Bulkheads aufweisen muss. (siehe Regel B3.20.4) Deshalb muss sich für eine methodische Vorgehensweise entschieden werden.

### 7.1.4 Vorteile einer verschweißten gegenüber einer verschraubten AI-Platte

Als besonderer Vorteil in Bezug auf eine verschweißte AI-Platte kann gesagt werden, dass bei einem Aufprall ein geringeres eindringen in den Fahrerraum erfolgt, wobei zudem eine bessere Krafteinleitung in den Rahmen gewährleistet wird. Zudem werden in dieser Situation die Kräfte besser über die gesamte Fläche der AI-Platte übertragen. Dies jedoch geschieht beispielsweise bei einer verschraubten AI-Platte nur punktuell, und das in dem Bereich, in dem die AI-Platte direkt am Bulkhead befestigt wurde.



### 7.1.5 Nachteile einer verschweißten gegenüber einer verschraubten Al-Platte

Bei den Nachteil einer verschweißten Al-Platte ist zu nennen, dass es im Falle eines leichten Unfalls ein Austausch der Crashbox-Einheit auf eine einfache Art und Weise nicht erfolgen kann. Sollte es widererwarten dazu kommen, so wird die Entfernung der Schweißnaht durch vollständige Zerstörung derselben nötig, da das Schweißen zum stoffschlüssigen Verfahren zählt. Zudem ist zu nennen, dass der Rahmen des Fahrzeugs dadurch Schaden nehmen würde.

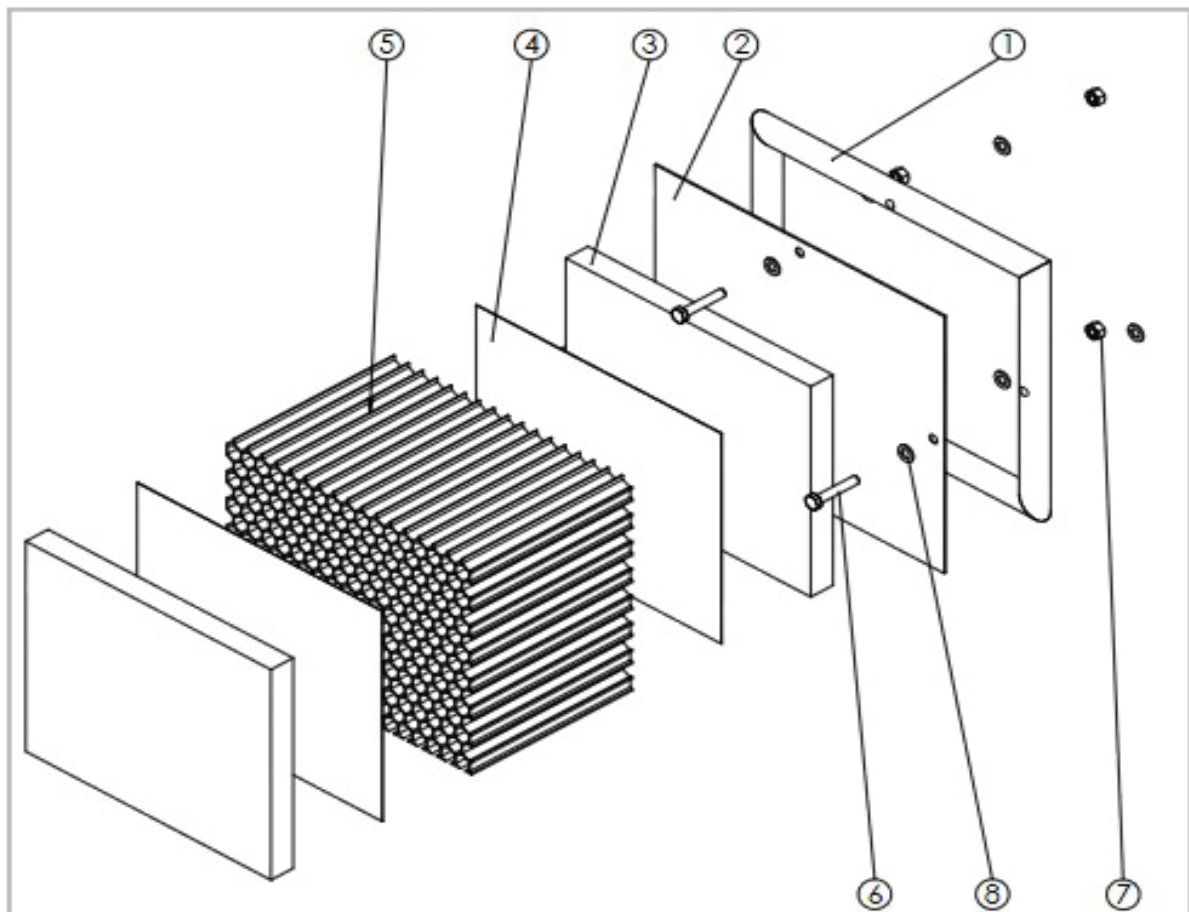
### 7.1.6 Auswahl von verschweißten und verschraubten Al-Platte

Aufgrund der Tatsache, dass es nur geringe Unterschiede in Bezug auf die Spitzenbeschleunigungen gibt, und in Hinsicht auf die damit verbundenen Nachteile sowie der Tatsache, dass ein Verschweißen nur bei Crashboxen aus Stahl in Frage kommt, ist es notwendig eine Crashbox mit entsprechend verschraubter Al-Platte zu verwenden.

### 7.1.7 Kernteile der Variante 1 und 2

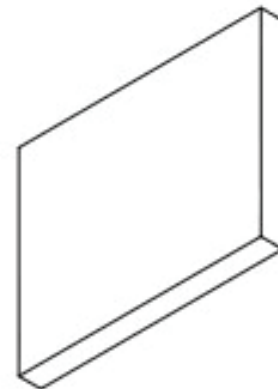
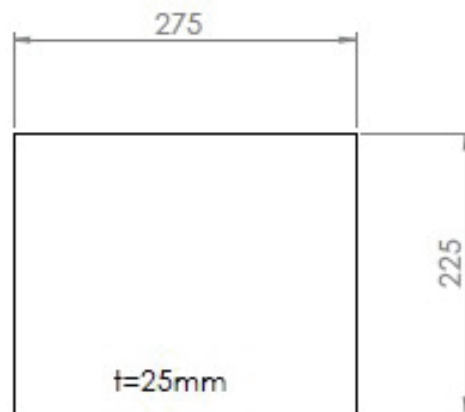
7.1.1 – 7.1.6 stellen in ihrer Art gemeinsame Teile zur Variante 1 und 2 dar, dabei sollen die Kernteile in den Erklärungen und Entwürfen von Variante 1 und 2 nachgesehen werden.

## 7.2 Entwurf von Variante 1

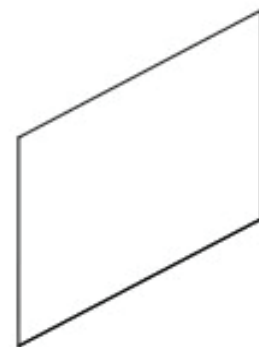
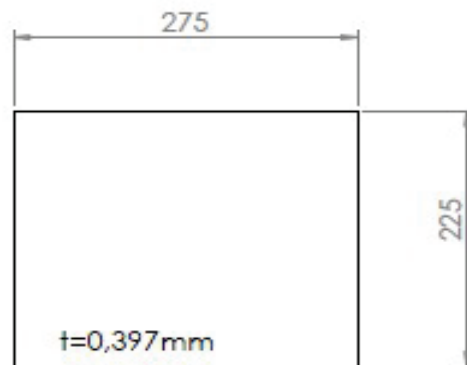


POS-NR.	BENENNUNG	MENGE
1	Bulkhead	1
2	Anti-platt	1
3	PE-schaum	2
4	Dünn-Alu-Platt	2
5	Alu-wabe	1
6	Schraube ISO 4017 - M8 x 45-N	4
7	Mutter ISO 4034 - M8 - N	4
8	U-Scheibe DIN 126 - 9	8

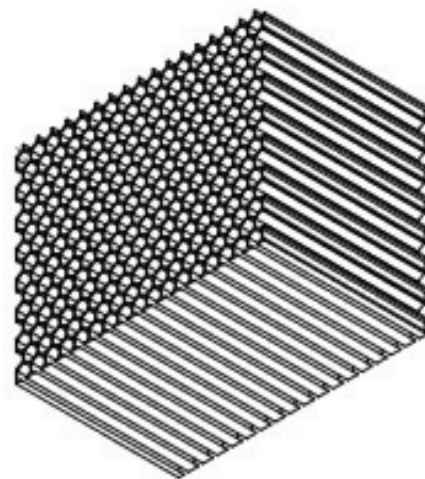
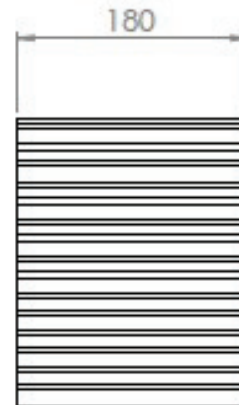
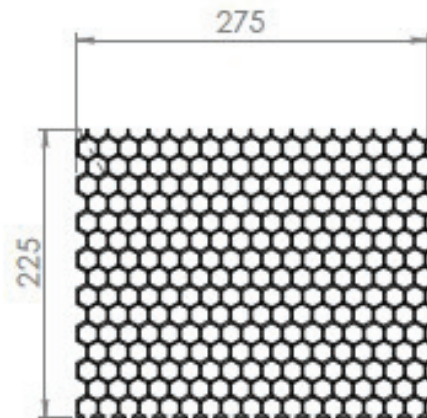
(Verwendungsbereich)		(Zul. Abw.)	(Oberfl.)	Maßstab 1:5	(Gewicht)
		Klasse DIN ISO 2768		(Werkstoff Halbzeug) (Rohteil-Nr.) (Modell- oder Gesenk-Nr.)	
		Datum	Name	Variant 1	
		Bearb. 5.5.2012	Yannan Du		
		Gepr.			
		Norm			
		Hochschule Mittweida			Blatt 7
					Blätter
Zust.	Änderung	Datum	Name	Ursprung	beschn
				Ersatz für:	Ersatz durch:



(Verwendungsbereich)		(Zul. Abw.)	(Oberfl.)	Maßstab 1:5	(Gewicht)
		Klasse DIN ISO 2768m		(Werkstoff Halbzeug) Polyethylen-Schaum	
		Datum	Name	(Rohteil-Nr.)	
		Bearb. 4.5.2012	Yannan Du	(Modell- oder Gesenk-Nr.)	
		Gepr.		PE-schaum	
		Norm			
		Hochschule Mittweida			Blatt 4
					Blätter
Zust.	Änderung	Datum	Name	Ursprung	Ersatz für: Ersatz durch:



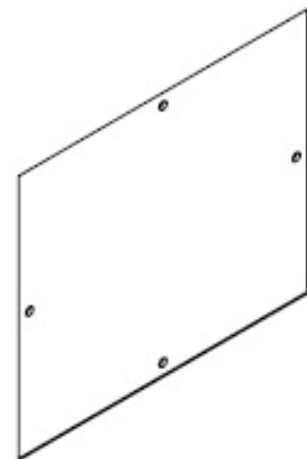
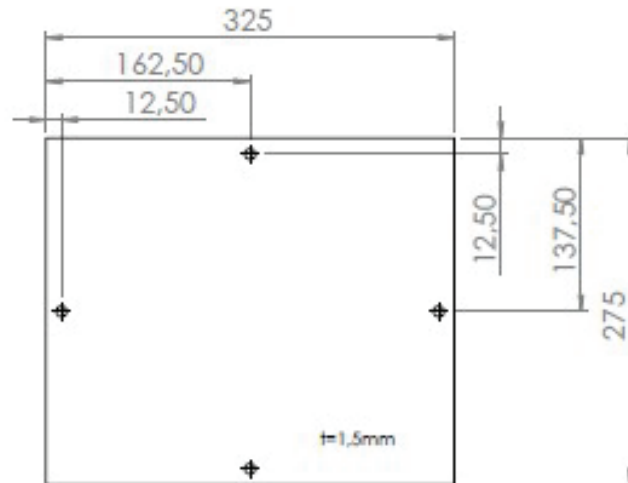
(Verwendungsbereich)			(Zul. Abw.)		(Oberfl.)	Maßstab 1:5	(Gewicht)
			Klasse DIN ISO 2768m			(Werkstoff Halbzeug) Aluminium	
			Datum 5.5.2012		Name Yannan Du	(Rohteil-Nr.)	
			Bearb.			(Modell- oder Gesenk-Nr.)	
			Gepr.			Dünn-Alu-Platte	
			Norm				
			Hochschule Mittweida			Blatt 3	
						Blätter	
Zust.	Änderung	Datum	Name	Ursprung	beschn.	Ersatz für:	Ersatz durch:



(Verwendungsbereich)				(Zul. Abw.)	(Oberfl.)	Maßstab 1:5	(Gewicht)
				Klasse DIN ISO 2768m		(Werkstoff Halbzeug) Aluminium	
				Datum	Name	(Rohteil-Nr.)	
				Bearb. 3.5.2012	Yannan Du	(Modell- oder Gesenk-Nr.)	
				Gepr.		Alu-wabe	
				Norm			
				Hochschule Mittweida			Blatt 5
							Blätter
Zust.	Änderung	Datum	Name	Ursprung	beschn.	Ersatz für:	Ersatz durch:

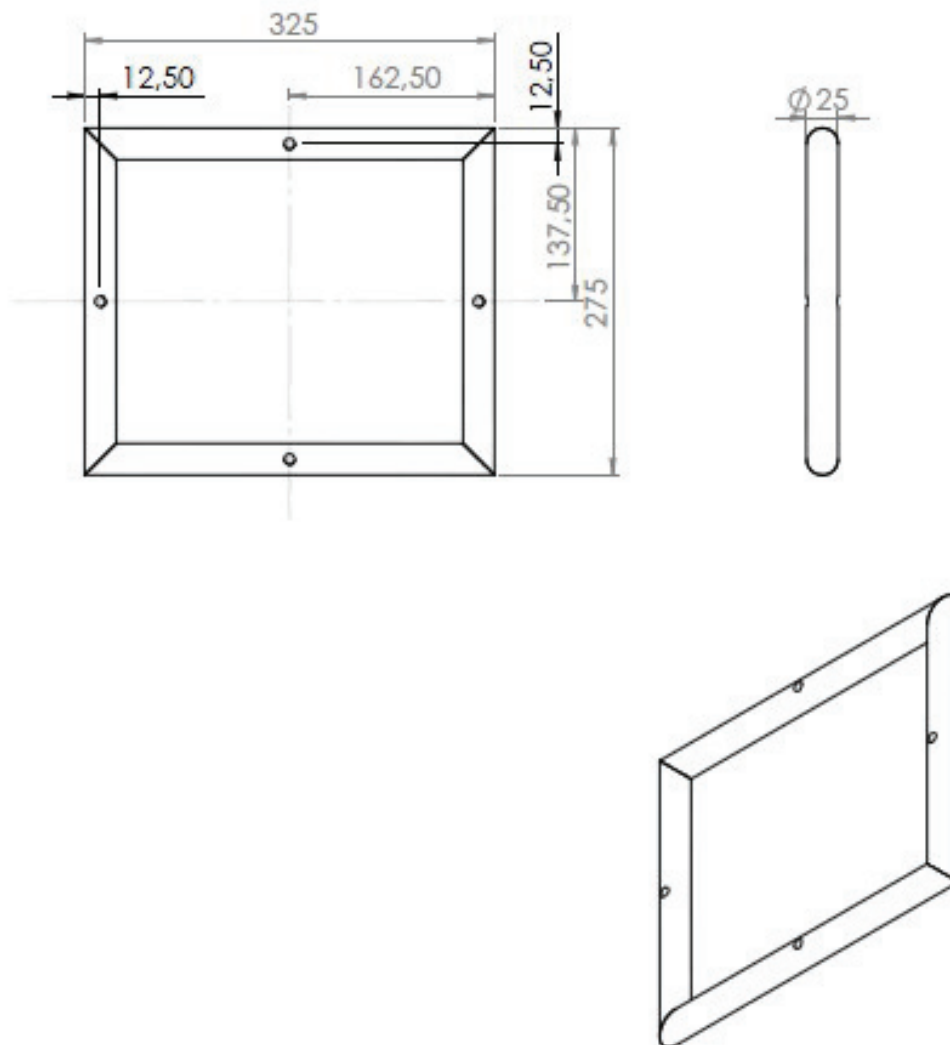
MB08w1-B

Mtk. Nr.:19165



Alle Bohrungen: 8,4mm

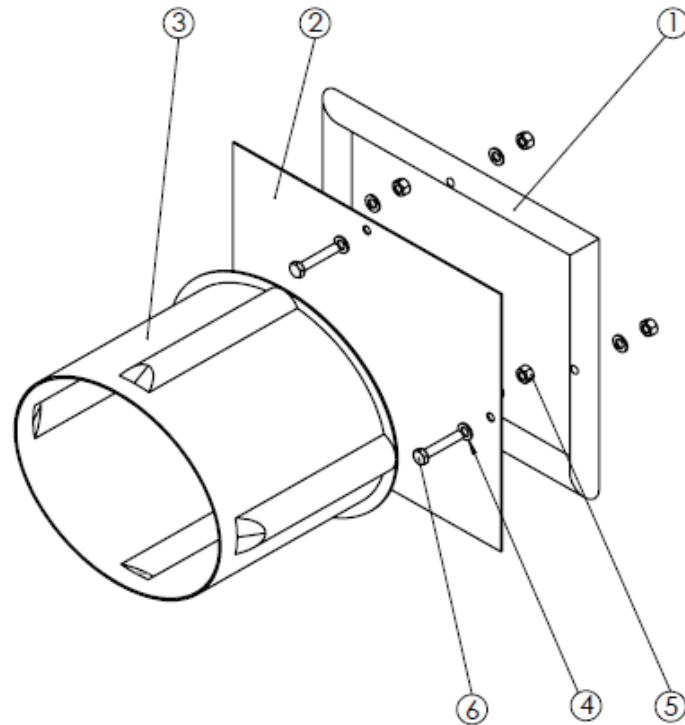
(Verwendungsbereich)				(Zul.Abw.)		(Oberfl.)		Maßstab 1:5		(Gewicht)	
				Klasse DIN ISO 2768m				(Werkstoff Halbzeug) (Rohteil-Nr.) (Model- oder Gesenk-Nr.)		S235JR	
					Datum	Name		Al-Platte			
				Bearb.	5.5.2012	Yannan Du					
				Gepr.							
				Norm							
				Hochschule Mittweida				<div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> </div> <div> Blatt 2 Blätter </div>			
Zust.	Änderung	Datum	Name	Ursprung	beschn.			Ersatz für:	Ersatz durch:		




Alle Bohrungen: 8,4mm

(Verwendungsbereich)				(Zul.Abw.)		(Oberfl.)	Maßstab 1:5		(Gewicht)
				Klasse			(Werkstoff Halbzeug)		S235JR
				DIN ISO 2768f			(Rohteil-Nr.)		
							(Modell- oder Gesenk-Nr.)		
				Datum	Name		Bulkhead		
				Bearb.	5.5.2012	Yannan Du			
				Gepr.					
				Norm					
				Hochschule			Blatt 1		
				Mittweida					
Zust.	Änderung	Datum	Name	Ursprung	beschn	Ersatz für:	Ersatz durch:		

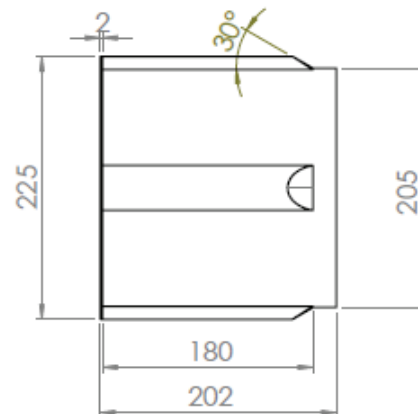
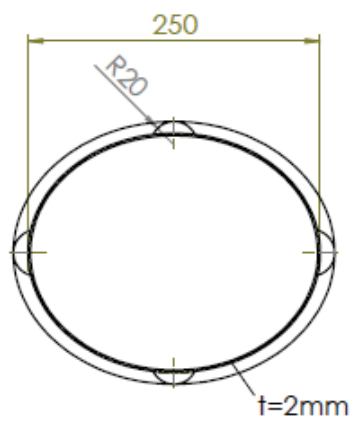
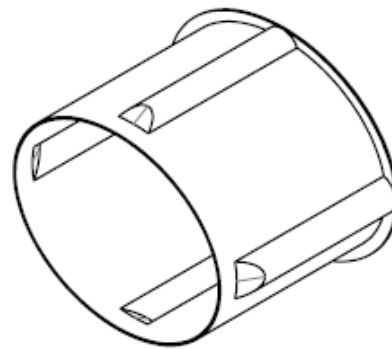
## 7.3 Entwurf von Variante 2



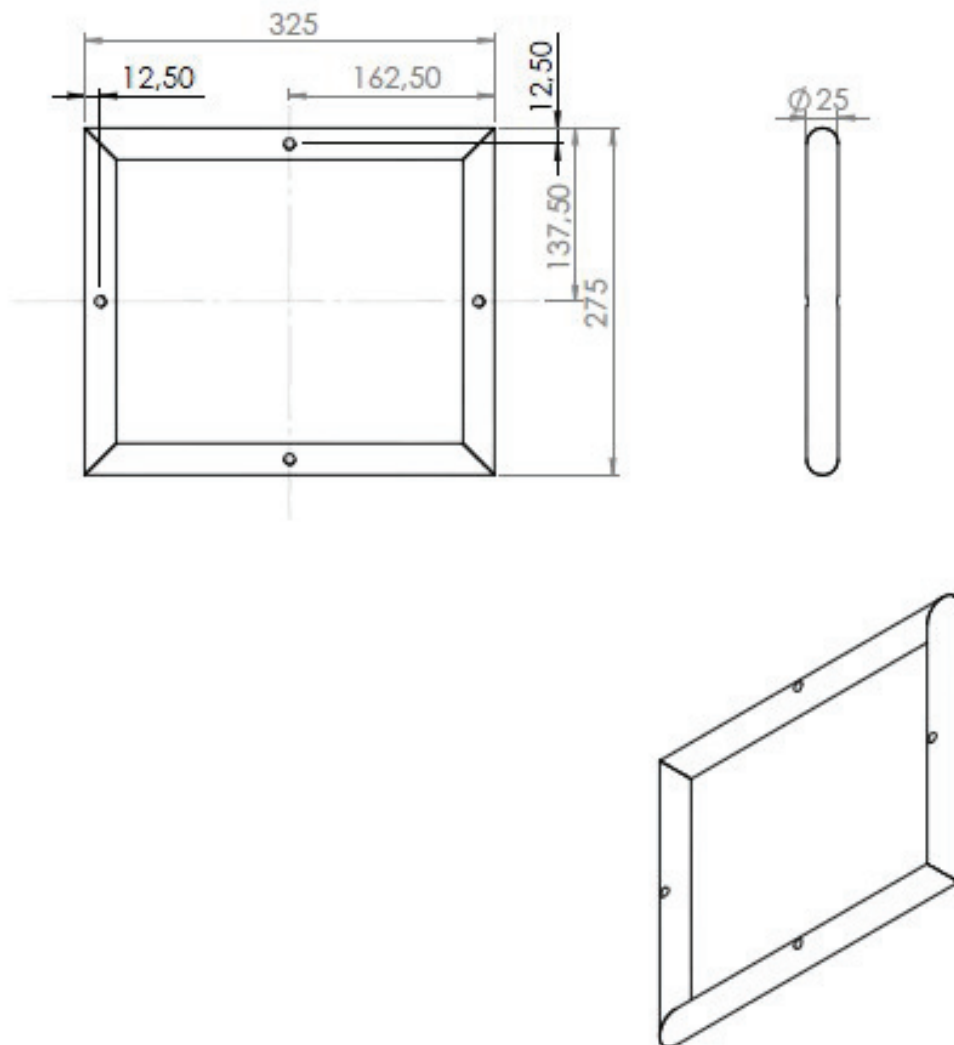
POS-NR.	BENENNUNG	MENGE
1	Bulkhead	1
2	Anti-platt	1
3	CFK-Box	1
4	U-Scheibe DIN 126 - 9	8
5	Mutter ISO 4034 - M8 - N	4
6	Schraube ISO 4017 - M8 x 45-N	4

(Verwendungsbereich)		(Zul. Abw.) Klasse DIN ISO 2768	(Oberfl.)	Maßstab 1:5	(Gewicht)
		Datum	Name	(Werkstoff Halbzeug) (Rohteil-Nr.) (Modell- oder Gesenk-Nr.)	
		Bearb. 5.5.2012	Yannan Du	Variant 2	
		Gepr.			
		Norm			
		Hochschule Mittweida 			Blatt 8
Zust.	Änderung	Datum	Name	Ursprung	beschn. Ersatz für: Ersatz durch:





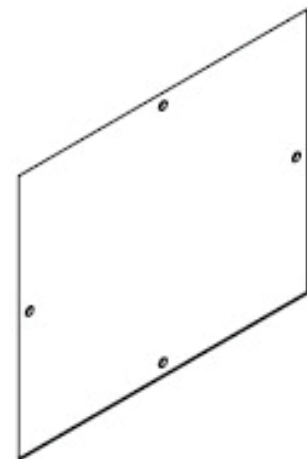
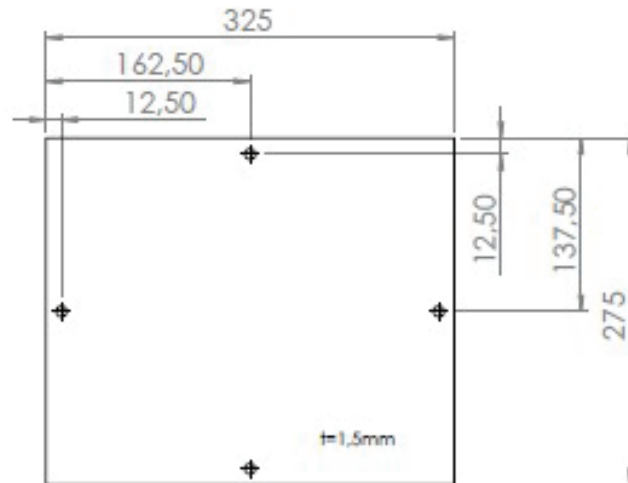
(Verwendungsbereich)				(Zul.Abw.)		(Oberfl.)		Maßstab 1:5		(Gewicht)	
				Klasse				(Werkstoff Halbzeug)		CFK	
				DIN ISO 2768m				(Rohteil-Nr.)			
								(Modell- oder Gesenk-Nr.)			
					Datum	Name		CFK-Box			
				Bearb.	3.5.2012	Yannan Du					
				Gepr.							
				Norm							
				Hochschule							
				Mittweida							
Zust.	Änderung	Datum	Name	Ursprung	beschn.		Ersatz für:		Ersatz durch:		Blatt
											6
											Blätter



Alle Bohrungen: 8,4mm

(Verwendungsbereich)			(Zul. Abw.)		(Oberfl.)	Maßstab 1:5	(Gewicht)
			Klasse DIN ISO 2768f			(Werkstoff Halbzeug) S235JR	
						(Rohteil-Nr.)	
						(Model- oder Gesenk-Nr.)	
			Datum	Name	Bulkhead		
			Bearb.	5.5.2012 Yannan Du			
			Gepr.				
			Norm				
			Hochschule Mittweida				
Zust.	Änderung	Datum	Name	Ursprung	beschn.	Ersatz für:	Ersatz durch:

Blatt  
1  
Blätter



Alle Bohrungen: 8,4mm

(Verwendungsbereich)				(Zul.Abw.)		(Oberfl.)		Maßstab 1:5		(Gewicht)	
				Klasse DIN ISO 2768m				(Werkstoff Halbzeug) (Richtteil-Nr.) (Modell- oder Gesenk-Nr.)		S235JR	
				Datum		Name		Al-Platte			
				Bearb. 5.5.2012		Yannan Du					
				Gepr.							
				Norm							
								<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div>Hochschule Mittweida</div>  <div>Blatt 2</div> </div>			
Zust.	Änderung	Datum	Name	Ursprung	beschr.	Ersatz für:			Ersatz durch:		

## 7.4 Vergleich und Auswahl der Varianten

Mit Hilfe der nachstehenden Tabelle ist es Möglich einen Vergleich der Hauptkernteil der Variante 1 und 2 zu vergleichen, wobei sich im erneuten Erklärungsbedarf auf die Punkte 6.1.1 und 6.1.2 der vorliegenden Arbeit bezogen werden kann.

Bei der Variante 1 liegt eine gute Kombination vor, da der PE-Schaum eine verbessernde Einwirkung auf die bestehenden Nachteile der Aluminiumwabe haben. Ebenfalls kann gesagt werden, dass Variante 2 auch nicht als schlechte Wahl angesehen werden kann. Jedoch bin ich der Meinung, dass eine gute Kombination einem einzigen Material vorzuziehen ist, weshalb die Variante 1 ausgewählt wurde.

<b>Werkstoff</b>	<b>Montage-Methode</b>	<b>Vorteile</b>	<b>Nachteile</b>
Aluminiumwabe	Kleben	+sehr steif +relativ leicht +beliebig lakierbar +wasser-unempfindlich +auch mit Hartschaumkern erhältlich	-beult bei Schlagbelastung(Wabenplatte) irreversibel ein -Spezialwerkzeuge erforderlich -hoher Preis -kalte Oberfläche -bei Wabenplatte Kältebrücke
CFK	Kleben	+ niedrige Masse +ausgezeichnete Ermüdungsfestigkeit +Laufruhedaurch Schwingungsdämpfung + leichte Montage und Demontage +niedrige Wartungskosten +geringe Stillstandzeiten	-hohe Werkstoff- und Fertigungskosten -komplexer Konstruktionsprozeß -eventuell aufwändige Verarbeitung -Probleme bei der Gestaltung der Krafteinleitungen
PE-Schaum	Kleben	+ Geringes Gewicht +Absorption von Stößen +Lösungsmittelbeständig + Bruch- und rissfest + Gut zu verarbeiten	-geringer Dichte -geringer Druckstabilität

Tabelle 5: Variante vergleichen

## 8. Zusammenfassung

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die von mir ausgewählte Variante definitiv für Motorsport-Crash-Anwendungen zu empfehlen ist, besonders da diese Variante des Niedrigpreises für TMM aufweist. Dabei lässt sich zeigen, dass die Kombination der Aluminiumwabe die nachstehenden Vorteile aufweist:

homogene Struktur

hohe spezifische Energieaufnahme

besonders einfache Herstellung bei guter Eignung für kleine Hersteller

In dem gewählten Fall ist zu nennen, dass sich diese Konstruktion besonders für die erhoffte Verwendung eignet, da diese eine deutliche Erhöhung der Sicherheitsstandards des Wagens mit sich bringt. Als Vorteil ist auch zu nennen, dass sich das Gewicht der absorbierenden Strukturen selbst auf nur 1,15514kg beläuft. Dies ist im Vergleich zur CFK-Box ein erheblicher Unterschied, da diese ein absorbierendes Kernmaterial aufweist, welches fast viermal so viel Energie bei einem annähernd ähnlichem Gewicht absorbiert, wobei die Herstellungskosten des absorbierenden Materials zudem als noch geringer eingeschätzt werden können.

Somit ergeben sich die definitiven Vorteile zur Variante 1 in:

sehr guten Energieabsorptionszahlen

sehr vernünftigem Gewicht

niedrigen Herstellungskosten

der Einfachheit der Fertigung

## Erklärung

Ich erkläre, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe.

Mittweida, 6.5.2012

Yannan Du

# Formula Student – Regelwerk

## B3.20 Impact Attenuator – Crashbox

- B3.20.1 Die Crashbox muss
- a. vor dem Bulkhead angebracht sein.
  - b. Mindestens 200mm (7.8 inch)lang, mit seiner Länge orientiert and der vorderen Achsen des Rahmens.
  - c. Mindestens 100mm(3.9in) hoch und 200mm(7.8in) breit mit einem Mindestabstand von 200mm(7.8in) vor dem vorderen Bulkhead.
  - d. So, dass es den Bulkhead im Falle eines Unfalls nicht durchdringt
  - e. Sicher und direkt am vorderen Bulkhead angebracht und darf kein Teil der Verkleidung sein.

- B3.20.2 Ein ausreichender Kraftfluss muss bei der Befestigung der Crashbox bedacht werden, damit bei seitlichen und vertikalen Kräften im Falle eines nicht mittigen bzw. schrägen Einschlages die Kontrolle gewährleistet werden kann.

- B3.20.3 Eine geprüfte „Festigkeitsanalyse“ nach der Befestigung der Crashbox an einem Monocoque ist unabdingbar.

Ein Beispiel hierfür zeigt Punkt B3.8. 4 M8 Schrauben sind mit der Festigkeitsklasse 8.8 (5/16 inch Grat 5)vergleichbar.

- B20.4 Es ist notwendig, dass an allen Autos eine Aluminium- „Anti-Eindringungs-Platte“, 1,5mm(0.06 inch) Stahl- oder 4mm(0.157inch) ,in die Crashbox-Einheit integriert ist.

Wichtig hierbei ist es zu beachten dass die Platte, wenn sie geschraubt wird, diese die gleiche Größe aufweist, wie die der äußeren Abmessungen des Bulkheads.

Die fest geschweißte Platte muss bis zur Mittellinie der Bulkheadrohre gehen. Wenn die Platte angeschweißt wird, muss sie bis zur Mittellinie der Bulkheadrohre führen.



B20.5 Wird die Platte nicht im Rahmen geschweißt, also integriert, so muss man sie mit mindestens 4 M8-Schrauben mit der Festigkeitsklasse 8.8 (5/16 inch Grat 5) am vorderen Bulkhead befestigen.

B20.6 Platten die eine alternative Konstruktion aufweisen und nicht den Minimalanforderungen entsprechen, wie aus Artikel B.3.20.4, benötigen eine geprüfte Festigkeitsanalyse, wie in Punkt B3.8 beschrieben.

### **B3.21 Benötigte Crashboxß Daten**

B3.21.1 Das Vorlegen von Testdaten ist ein wichtiger Bestandteil des Teams. Diese zeigen, dass ihre Crashbox, wenn sie an der Front des Autos angebracht ist und mit einer gesamten Masse von 300kg(661lbs) gecrashed in eine massive, nicht nachgebende Prallfläche mit einer Aufprallgeschwindigkeit von 7.0 m/s(23ft/sec) ist, Beschleunigungswert von 20g im Mittelwert und 40g in der Spitze nicht überschreiten darf.

B3.21.2 Die Rohdaten werden zur Berechnung der Durchschnittsverzögerung benutzt. Resultierend kann man dann die Spitzenbeschleunigung bewerten. Treten Spitzenwerte über 40 g auf, so kann eine Kanal-Filter Klasse 60(100Hz) entsprechend der SAE Empfehlung J211 „Instrumente für Crashtest“, oder ein 100hHz, 3.Anforderung, Tiefpass-Butterworth-Filter(-3dB bei 100Hz) genutzt werden.

B3.21.3 Ein wichtiger Bestandteil des Test ist das Festhalten und Nachweisen durch Bildmaterial, sowie vorher als auch nachher.

B3.21.4 Während der technischen Abnahme wird das jeweilige Testobjekt gezeigt um darauf hin mit Fotos verglichen zu werden. Hierbei muss die Crashbox bereits am Fahrzeug angebracht worden sein.

- B3.21.5 Die Testdaten und Berechnungen müssen im Adobe [Acrobat@Format\(\\*.pdf\)](#) zu der Adresse und zum Zeitpunkt der auf der dem Event entsprechenden Website angegebenen Deadline übermittelt werden. Es muss eine Datei(Text, Zeichnung, Daten usw.) sein.
- B3.21.6 Im Folgenden wird gezeigt, wie diese benannt werden müssen:  
Startnummer\_Schulname\_Eventbezeichnung\_IAD.pdf Bsp:  
32\_UAS\_Mittweida\_FSG\_IAD.pdf , Eventbezeichnung zu finden in Regel A. 2.6
- B3.21.7 Im Falle der Verspätung und Nichteinhaltung der Deadline bekommen die Teams eine 10-Punkte-Strafe pro Tag. Die Maximale Punktzahl bei Strafen beträgt 50 Punkte.
- B3.21.8 Es findet eine Bewertung der Unterlagen statt und diese werden beim Design Event dazu addiert.

### **FSG 3.1 Crashbox**

#### **FSG 3.1.1 Anti- Eindringungsplatte ( Spezielle FSG-Änderung zur FSAE@ 2011 Regel B14.2)**

Eine Anti-Eindringungs-Platte“ muss an allen Autos in die Crashbox-Einheit integriert sein. 1,5mm(0.06 inch) Stahl- oder 4mm (0.157 inch) . Der Gebrauch von anderen Materialien ist strikt verboten.

### **FSG 5.2 Crashboxdaten**

Der FSG-IAD-Bericht mit dem in den FSG-Regeln angehängten Anhang A-B muss von allen Teams übermittelt werden. Zu dem Bericht gehören die Beschreibung des Testaufbaus sowie die Ausrüstung, die Dokumentation der Fotos sowohl vor als auch nach dem Test und alle technischen Zeichnungen. Die Deadline

muss immer berücksichtigt werden und die Daten müssen in diesem Zeitraum richtig übermittelt werden.

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Axiale Druckbelastungen .....	7
Abbildung 2 : Aluminiumschaum.....	11
Abbildung 3: Aluminiumwabe-CAD-Model .....	13
Abbildung 4: Stahl-Aluminium Bleche .....	14
Abbildung 5: CFK.....	15
Abbildung 6: PE-Schaum.....	17
Abbildung 7: FSAE Impact Attenuator Type 11 .....	19
Abbildung 8: Standard IA TYPE12.....	20
Abbildung 9: Position von Standard IA_1 .....	21
Abbildung 10: Position von Standard IA_2 .....	22
Abbildung 11: Beachtung bei Verrundungen .....	23
Abbildung 12: Variante1 .....	24
Abbildung 13: Variante 2 : CFK - Crashbox.....	25

# Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 :Material vergleichen 1 .....	18
Tabelle 2 :Material vergleichen 2 .....	18
Tabelle 3: Plascore Aluminiumwabe[13] .....	30
Tabelle 4: Eigenschaften von PE-schaum .....	31
Tabelle 5: Variante vergleichen .....	44

# Abkürzungsverzeichnis

FSAE	Formula SAE
SAE	society of automotive engineers (Verband der Automobilingenieure)
FSG	Formula Student Germany
TMM	Technikum Mittweida Motorsport
CFK	Kohlenstofffaserverstärkte Kunststoffe
GFK	Glasfaserverstärkter Kunststoff
EMV	Elektromagnetischen Verträglichkeit
AI-Platte	Anti Intrusion Plate  (Anti-Eindringungs-Platte) Verhindert das Eindringen der Crashbox in den Fahrerraum
CFRP	Carbon fibre reinforced plastics(CFK)
UD	Unidirektional
PE	Polyethylen
BSCI	Business Social Compliance Initiative  (eine wirtschaftsgetriebene Plattform zur Verbesserung der sozialen Standards in einer weltweiten Wertschöpfungskette)
IA	Impact Attenuator
AIP	AI-Platte

# Literaturverzeichnis:

[1] Formula Student,

URL:<http://www.formulastudent.com/Libraries/Documents/IAReportGrading.sflb.ashx>.

verfügbar am 25.07.2012

[2] Formula Student Germany,

URL:[http://www.formulastudent.de/uploads/media/FSG\\_RULES\\_2012\\_ver1.03.pdf](http://www.formulastudent.de/uploads/media/FSG_RULES_2012_ver1.03.pdf),

verfügbar am 25.07.2012

[3] SAE International, 2012Formula SAE Rules,

URL:<http://students.sae.org/competitions/formulaseries/rules/2012fsaerules.pdf>

verfügbar am 25.07.2012

[4] Crashbox Grundprinzip

URL:<http://wenku.baidu.com/view/97adec4569eae009581beca1.html>

verfügbar am 20.07.2012

[5] Aluminiumschaum

URL:<http://www.flickr.com/photos/stehfun/1748146212/>

verfügbar am 20.07.2012

[6] Aluminiumwabe

URL:

[http://www.aluminiumwabe.com/ted/componenti\\_pannelli\\_sandwich/anime\\_all\\_eggerite/alveolari/alveolari\\_alluminio.php](http://www.aluminiumwabe.com/ted/componenti_pannelli_sandwich/anime_all_eggerite/alveolari/alveolari_alluminio.php)

verfügbar am 21.2012

[7] CFK

URL:

[http://de.wikipedia.org/wiki/Kohlenstofffaserverst%C3%A4rkter\\_Kunststoff](http://de.wikipedia.org/wiki/Kohlenstofffaserverst%C3%A4rkter_Kunststoff)

verfügbar am 20.07.2012

[8] GFK

URL: [http://de.wikipedia.org/wiki/Glasfaserverst%C3%A4rkter\\_Kunststoff](http://de.wikipedia.org/wiki/Glasfaserverst%C3%A4rkter_Kunststoff)

verfügbar am 21.07.2012

[9] PE-Schaum

URL: <http://www.masterfoam.de/ger/mat/polyethylenschaum/>

verfügbar am 21.07.2012

[10] 2012 Competitions Season

URL: [http://www.fsaeonline.com/content/FSAE\\_Spec\\_IA\\_TYPE\\_12.PDF](http://www.fsaeonline.com/content/FSAE_Spec_IA_TYPE_12.PDF)

verfügbar am 22.07.2012

[11] CFK

URL: <http://e-collection.library.ethz.ch/eserv/eth:28637/eth-28637-01.pdf>

verfügbar am 22.07.2012

[13] Plascore Aluminiumwabe, gegebene Daten(PDF) von Herr Robert Huebner

verfügbar am 25.07.2012



[14] Abbildung von Axiale Druckbelastungen

URL: <http://wenku.baidu.com/view/97adec4569eae009581beca1.html>

verfügbar am 26.07.2012

[15] Abbildung von Aluminiumschaum

URL: <http://www.flickr.com/photos/stehfun/1748146212/>

verfügbar am 27.07.2012

[16] Abbildung von Stahl-Aluminium Bleche

URL: <http://www.anhaenger-ersatzteile-versand.de/Stahl-Alu-Holz/Alubleche/Alublech-eloxiert-200x100cm-2mm-stark-p1071.html>

verfügbar am 28.07.2012

[17] Abbildung von CFK

URL:  
[http://shop.strato.de/epages/15452660.sf/de\\_DE/?ObjectPath=/Shops/15452660/Products/902160\\_11](http://shop.strato.de/epages/15452660.sf/de_DE/?ObjectPath=/Shops/15452660/Products/902160_11)

verfügbar am 27.07.2012

[18] Abbildung von PE-Schaum

URL: <http://www.masterfoam.de/ger/mat/polyethylenschaum/>

verfügbar am 1.08.2012



